М 107/167

Склодовская-Кюри.

801-17
740

РАДІЙ
и
РАДІОАКТИВНЫЯ ВЕЩЕСТВА.

Изслѣдованіе радіоактивныхъ веществъ.

Диссертація, представленная для
полученія степени доктора физики.

*

Переводъ со 2 французскаго изданія студента С. Н. ПЕТРОВА.
Подъ редакціею
Профессора Электротехническаго Института
Императора Александра III
А. С. ПОПОВА.

*

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Типографія Н. Н. Фридберга, Б. Сампсоніевскій пр., 62.
1904.

Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 2 Іюня 1904 г.

ВВЕДЕНІЕ.

Настоящій трудъ имѣетъ цѣлью изложить изслѣдованія радіоактивныхъ веществъ, которыми я занималась въ продолженіе 4 лѣтъ. Свои изысканія я начала съ открытаго Беккерелемъ лучеиспусканія урана. Результаты, къ которымъ привела меня эта работа, съ очевидностью открыли столь интересные пути изслѣдованія, что оставившій свои изслѣдованія Кюри снова принялъ участіе въ работѣ и мы соединили свои силы съ намѣреніемъ получить новыя радіоактивныя вещества и продолжать ихъ изученіе.

Въ самомъ началѣ нашихъ работъ, мы считали долгомъ представить образцы открытыхъ и приготовленныхъ нами радіоактивныхъ веществъ нѣкоторымъ физикамъ и, прежде всего, Беккерелю, которому обязано открытіе лучей урана.

Такимъ образомъ, мы сами способствовали изслѣдованіямъ другихъ ученыхъ надъ новыми радіоактивными веществами.

Вслѣдъ за появленіемъ нашей первой работы, г. Гизель въ Германіи, въ свою очередь, занялся полученіемъ этихъ веществъ и представилъ свои образцы многимъ нѣмецкимъ ученымъ. Затѣмъ эти вещества привлекли всеобщее вниманіе въ Германіи и Франціи.

Принимая все большую и большую важность, предметъ создалъ научное движеніе, такъ что появилось и появляется множество сочиненій, особенно иностранныхъ, о радіоактивныхъ тѣлахъ. Результаты различныхъ французскихъ и иностранныхъ работъ неизбѣжно противорѣчатъ другъ другу, что, вообще, бываетъ при изученіи новаго вопроса на пути къ его разрѣшенію.

Съ каждымъ днемъ, такъ сказать, вопросъ принимаетъ новый видъ.

Однако, съ химической точки зрѣнія, было окончательно

установлено существованіе новаго, въ высшей степени радіоактивнаго, элемента—радія.

Приготовленіе чистаго хлористаго соединенія радія и опредѣленіе атомнаго вѣса радія составляетъ самую главную часть моей личной работы.

Эта работа къ извѣстнымъ въ настоящее время съ достовѣрностью простымъ тѣламъ прибавила новое тѣло съ весьма замѣчательными свойствами.

Былъ доказанъ и установленъ новый методъ химическихъ изысканій. Этотъ методъ основывался на явленіи радіоактивности, разсматриваемой, какъ атомическое свойство вещества,—именно то, которое г. Кюри и мнѣ дало возможность открыть существованіе радія.

Если вопросъ, который былъ нами первоначально предложенъ, можно съ точки зрѣнія химіи считать уже рѣшеннымъ, то изученіе физическихъ свойствъ радіоактивныхъ веществъ широко развивается. Установлены нѣкоторыя важныя положенія, хотя большинство заключеній носитъ еще временный характеръ. Это вполнѣ понятно, если принять во вниманіе сложность явленій, въ которыхъ проявляется радіоактивность, и разницу, существующую между различными радіоактивными веществами.

Вотъ почему изслѣдованія различныхъ физиковъ неизбѣжно и расходятся.

Стараясь сообразоваться съ главною цѣлью настоящаго труда и изложить мои собственныя изслѣдованія, я принуждена въ то же время сообщить результаты другихъ работъ, знакомство съ которыми необходимо.

Въ то же время, изъ настоящаго труда я хотѣла сдѣлать, вмѣстѣ съ тѣмъ, и сочиненіе о современномъ положеніи вопроса.

Свой трудъ я выполнила въ лабораторіяхъ Городской Школы промышленной физики и химіи въ Парижѣ съ разрѣшенія г. Шутценбергера, покойнаго директора Школы, и г. Лотъ, нынѣшняго ея директора.

Я считаю долгомъ выразить здѣсь свою глубокую благодарность за радушное гостепріимство, которое я встрѣтила въ этой школѣ.

Историческій очеркъ.

Открытіе явленій радіоактивности связано съ изслѣдованіями фотографическихъ дѣйствій фосфоресцирующихъ и флуоресцирующихъ веществъ, которыя непрерывно слѣдовали со времени открытія Рентгеновыхъ лучей.

Первая трубка, дававшая лучи Рентгена, была безъ металлическаго антикатода. Источникомъ лучей Рентгена была стеклянная ея стѣнка, въ томъ мѣстѣ, куда ударяли катодные лучи; въ то же время эта стѣнка сильно флуоресцировала.

Является вопросъ, не сопровождается ли возбужденіе флуоресценціи обязательнымъ испусканіемъ лучей Рентгена и какова причина послѣднеи? Эта мысль впервые высказана Генрихомъ Пуанкаре. [1])

Вскорѣ Пуанкаре объявилъ, что онъ получилъ фотографическій отпечатокъ при помощи фосфоресцирующаго сѣрнистаго цинка [2]) сквозь черную бумагу.

Нивенгловскій получилъ подобное же явленіе съ сѣрнистымъ кальціемъ, освѣщеннымъ предварительно обыкновеннымъ свѣтомъ. [3])

Наконецъ, Троостъ получилъ очень отчетливые фотографическіе снимки, употребляя искусственно приготовленный кристаллъ гексагональной цинковой обманки, которая фосфоресцировала и дѣйствовала на фотографическую пластинку черезъ черную бумагу и толстый картонъ. [4])

Только что описанные опыты не могли быть воспроизведены, несмотря на многочисленныя попытки, сдѣланныя съ этою цѣлью.

---

[1]) Revue générale des Sciences, 30 janvier 1896.
[2]) Comptes rendus, t. CXXII, p. 312.
[3]) Comptes rendus, t. CXXII, p. 386.
[4]) Comptes rendus, t. CXXII, p. 564.

Такимъ образомъ, ничего не оставалось, какъ считать доказаннымъ, что сѣрнистый цинкъ и сѣрнистый кальцій способны испускать подъ дѣйствіемъ свѣта невидимые лучи, которые проходятъ черезъ черную бумагу и дѣйствуютъ на фотографическую пластинку.

Беккерель дѣлалъ подобные же опыты съ солями урана, изъ которыхъ нѣкоторыя флуоресцируютъ. [1])

Онъ получилъ фотографію черезъ черную бумагу при помощи двойной сѣрнокислой соли урана и калія.

Сначала Беккерель думалъ, что эта флуоресцирующая соль дѣйствуетъ такъ же, какъ сѣрнистое соединеніе цинка и кальція въ опытахъ Генриха Пуанкаре, Нивенгловскаго и Трооста. Но послѣдующіе опыты показали, что наблюдаемыя свойства не связаны исключительно съ явленіями флуоресценціи. Предварительное освѣщеніе этой соли необязательно, даже болѣе того, уранъ и всѣ его соединенія, флуоресцирующія и нефлуоресцирующія, дѣйствуютъ одинаково, причемъ металлическій уранъ наиболѣе активенъ. Далѣе, Беккерель, помѣщая соединенія урана въ совершенную темноту, нашелъ, что они продолжаютъ годами дѣйствовать на фотографическую пластинку, завернутую въ черную бумагу. Для объясненія этого новаго явленія, Беккерель допустилъ, что уранъ и его соединенія испускаютъ особенные лучи: урановые лучи.

Беккерель доказалъ, что эти лучи могутъ проходить черезъ тонкій металлическій экранъ и что они разряжаютъ наэлектризованныя тѣла.

Онъ дѣлалъ также опыты, на основаніи которыхъ вывелъ заключеніе, что урановые лучи, подобно обыкновеннымъ лучамъ свѣта, отражаются, преломляются и поляризуются.

Работы другихъ физиковъ (Эльстеръ и Гейтель, лордъ Кельвинъ, Шмидтъ, Рузерфордъ, Беатти и Смолуховскій) подтвердили и расширили результаты изслѣдованій Беккереля, исключая того, что касается преломленія, отраженія и поляризаціи урановыхъ лучей, которые въ этомъ отношеніи скорѣе подобны лучамъ Рентгена, какъ это было признано сначала Рузерфордомъ, а затѣмъ и самимъ Беккерелемъ.

[1]) Becquerel, Comptes rendus, 1896 (plusieurs Notes).

Глава I.

Радіоактивность урана и торія. Радіоактивные минераллы.

Лучи Беккереля. — Лучи урана, открытые Беккерелемъ, производятъ дѣйствіе на фотографическую пластинку при совершенномъ отсутствіи свѣта; они могутъ проходить черезъ всѣ твердыя, жидкія и газообразныя тѣла, при условіи, чтобы плотность послѣднихъ была довольно незначительная; проходя черезъ газы, они дѣлаютъ ихъ слегка электропроводными [1]).

Эти свойства соединеній урана не обязаны своимъ происхожденіемъ ни одной изъ извѣстныхъ возбудительныхъ причинъ. Лученспусканіе кажется самопроизвольнымъ. Интенсивность этого лученспусканія нисколько не уменьшается, если держать соединенія урана въ совершенной темнотѣ годами; словомъ, здѣсь не можетъ быть рѣчи о какой либо особенной флуоресценціи, вызванной свѣтомъ.

Самопроизвольность и постоянство лученспусканія урана, какъ физическія свойства, являются совершенно необыкновенными.

Беккерель сохранилъ кусокъ урана въ продолженіе нѣсколькихъ лѣтъ въ темнотѣ и убѣдился, что до конца этого времени дѣйствіе его на фотографическую пластинку замѣтно не измѣнилось.

Эльстеръ и Гейтель дѣлали подобные же опыты и также нашли, что дѣйствіе остается постояннымъ [2]).

Я измѣряла интенсивность лученспусканія урана, пользуясь дѣйствіемъ этого лученспусканія на электропроводность воздуха. Этотъ методъ измѣреній будетъ изложенъ далѣе.

[1]) Becquerel, Comptes rendus, 1896 (plusieurs Notes)

[2]) Becquerel, Comptes rendus, t. CXXVIII, p. 771. — Elster et Geitel, Beibl., t. XXI, p. 455.

Я получила, такимъ образомъ, числа, которыя доказываютъ постоянство лучеиспусканія въ предѣлахъ точности опытовъ, т. е. около 2% или 3% [1]).

Для такихъ измѣреній пользуются металлическимъ дискомъ, покрытымъ слоемъ порошка урана; этотъ дискъ при томъ не сохраняется въ темнотѣ, такъ какъ это условіе, по наблюденіямъ вышеупомянутыхъ ученыхъ, оказываетъ незначительное вліяніе на результатъ.

Число сдѣланныхъ мною измѣреній съ такимъ дискомъ очень велико и въ дѣйствительности эти измѣренія производились въ пятилѣтній промежутокъ времени.

Затѣмъ были сдѣланы изысканія, чтобы узнать, не могутъ ли и другія вещества дѣйствовать такъ же, какъ соединенія урана.

Шмидтъ первый объявилъ, что торій и его соединенія обладаютъ также этой способностью [2]).

Такая же работа, произведенная мною въ то же самое время, дала мнѣ такой же результатъ.

Я напечатала свой трудъ, еще не зная о мемуарѣ Шмидта [3]).

Въ дальнѣйшемъ изложеніи будемъ говорить, что ураиъ, торій и ихъ соединенія испускаютъ *лучи Беккереля*.

Тѣ вещества, которыя обладаютъ способностью производить подобныя лучеиспусканія, я назвала *радіоактивными* веществами — это названіе стало съ тѣхъ поръ общепринятымъ [4]).

По своимъ фотографическимъ и электрическимъ дѣйствіямъ лучи Беккереля приближаются къ лучамъ Рентгена. Они обладаютъ, также, какъ и эти послѣдніе, способностью проходить черезъ всякія тѣла. Но ихъ сила проникновенія крайне разнообразна: лучи урана и торія задерживаются твердыми экранами, толщиною въ нѣсколько миллиметровъ, не могутъ проходить въ воздухѣ пространство, превышающее нѣсколько сантиметровъ. По крайней мѣрѣ, это справедливо для большей части лучеиспусканія.

---

[1]) Mme Curie, Revue générale des Sciences, janvier 1899.
[2]) Schmidt, Wied. Ann., t. LXV, p. 141.
[3]) Mme Curie, Comptes rendus, avril 1898.
[4]) P. Curie et Mme Curie, Comptes rendus, 18 juillet 1898.

Работы различныхъ физиковъ и, главнымъ образомъ, Рузерфорда показали, что лучи Беккереля не претерпѣваютъ ни правильнаго отраженія, ни преломленія, ни поляризаціи [1]).

Слабая сила проникновенія лучей урана и торія заставляетъ уподобить ихъ такъ называемымъ *вторичнымъ* лучамъ, которые возникаютъ подъ дѣйствіемъ Рентгеновыхъ лучей.

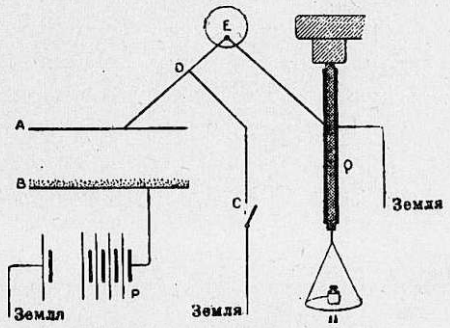
Этотъ родъ лучей подробно изслѣдованъ Саньякомъ [2]).

Съ другой стороны, лучи Беккереля можно сопоставить съ лучами катодными, которые распространяются въ воздухѣ (лучи Ленара).

Теперь мы знаемъ, что эти различныя сопоставленія вполнѣ законны.

Измѣреніе интенсивности лучеиспусканія. Примѣняемый методъ состоитъ въ измѣреніи проводимости, пріобрѣтаемой воздухомъ подъ дѣйствіемъ радіоактивныхъ веществъ. Этотъ методъ имѣетъ преимущество быстроты и даетъ числа, сравнимыя между собой. Существенную часть прибора, употребляемаго мною, составляетъ плоскій конденсаторъ AB (фиг. 1).

Фиг. 1.



Дѣйствующее вещество, мелкораздробленное, насыпается ровнымъ слоемъ на пластинку B. Тогда воздухъ между пластинками становится проводникомъ. Чтобы измѣрить эту проводимость, доводятъ пластинку B до высокаго потенціала, соединяя ее съ однимъ изъ полюсовъ батареи маленькихъ аккумуляторовъ P, другой полюсъ которой соеди-

---

[1]) Rutherford, Phil. Mag., janvier 1899.
[2]) Sagnac, Comptes rendus, 1897, 1898, 1899 (plusieurs Notes)

ненъ съ землей. Пластинка A остается при потенціалѣ земли, будучи соединена съ ней электрически проволокой CD. Тогда устанавливается электрическій токъ между этими двумя пластинками. Потенціалъ пластинки A указывается электрометромъ E. Если прервать въ C соединеніе съ землей, пластинка A заряжается и этотъ зарядъ заставляетъ отклоняться электрометръ. Скорость отклоненія пропорціональна силѣ тока и можетъ служить для ея измѣренія.

Но предпочтительно наблюденія дѣлать такъ, чтобы электрометръ удерживался все время на нулѣ посредствомъ посторонняго компенсирующаго заряда противоположнаго знака, сообщаемаго пластинкѣ A. Эти заряды пластинки A чрезвычайно слабы. Источникомъ компенсирующаго заряда можетъ служить пьезо-электрическій кварцъ Q, одна обкладка котораго соединена съ пластинкой A, а другая съ землей*). Пластинку кварца подвергаютъ нѣкоторому растяженію, производимому грузомъ, помѣщеннымъ на чашкѣ вѣсовъ π; это растяженіе производится постепенно для того, чтобы непрерывно выдѣлять извѣстное количество электричества во все время измѣреній.

Процессъ можно вести такимъ образомъ, чтобы въ каждое мгновеніе происходила компенсація между зарядомъ, притекшимъ къ пластинкѣ A чрезъ конденсаторъ, и противоположнымъ зарядомъ, доставленнымъ кварцемъ [1]). Можно, такимъ образомъ, измѣрить абсолютное количество электричества, которое проходитъ чрезъ конденсаторъ въ данный промежутокъ времени, т. е. силу тока. Это измѣреніе не зависитъ отъ чувствительности электрометра.

Произведя нѣкоторое число измѣреній такого рода, я убѣдилась, что радіоактивность есть явленіе, доступное из-

*) Подъ названіемъ піезо-электрическихъ явленій подразумѣваются случаи возбужденія электрическихъ зарядовъ на поверхности нѣкоторыхъ кристалловъ въ моментъ сдавливанія или растяженія ихъ. *Прим. переводчика.*

[1]) Этотъ результатъ легко можно получить, поддерживая грузъ рукою и позволяя ему только постепенно давить на чашку П и, такимъ образомъ, удерживать изображеніе электрометра на нулѣ. Небольшой навыкъ даетъ возможность очень точно достигнуть этого соотвѣтствующимъ поворотомъ руки. Этотъ методъ измѣренія слабыхъ токовъ описанъ г. Кюри въ его диссертаціи.

мѣреніямъ съ извѣстной точностью. Она мало измѣняется съ температурой; вліянія колебаній окружающей температуры едва замѣтны, а также на нее не дѣйствуетъ освѣщеніе активными веществами. Сила тока, который проходитъ черезъ конденсаторъ, увеличивается съ поверхностью пластинки. Для даннаго конденсатора и для даннаго вещества токъ увеличивается съ разностью потенціаловъ, которая существуетъ между пластинками, съ давленіемъ газа, наполняющаго конденсаторъ, и съ разстояніемъ между пластинками (лишь бы это разстояніе не было велико по отношенію къ діаметру). Однако, при большой разности потенціаловъ, токъ стремится къ предѣлу, который практически постояненъ. *Это такъ называемый токъ насыщенія или предѣльный токъ.* Точно также, при опредѣленномъ разстояніи между пластинками конденсатора, достаточно большомъ, токъ совершенно болѣе не измѣняется съ дальнѣйшимъ увеличеніемъ этого разстоянія. Этотъ, именно, токъ, полученный при такихъ условіяхъ, и взятъ, какъ мѣра радіоактивности въ моихъ изысканіяхъ; конденсаторъ былъ поставленъ въ воздухѣ при атмосферномъ давленіи.

Вотъ, въ видѣ примѣра, кривыя, которыя показываютъ силу тока въ зависимости отъ напряженности поля, возбужденнаго въ средней части между пластинками, для двухъ различныхъ разстояній. Пластинка B покрыта тонкимъ слоемъ металлическаго измельченнаго урана; пластинка A, соединенная съ электрометромъ, была снабжена предохранительнымъ кольцомъ для полученія болѣе равномѣрнаго поля, какъ это дѣлается въ абсолютномъ электрометрѣ лорда Кельвина.

Фиг. 2 показываетъ, что сила тока становится постоянною при значительныхъ величинахъ разности потенціаловъ между пластинками.

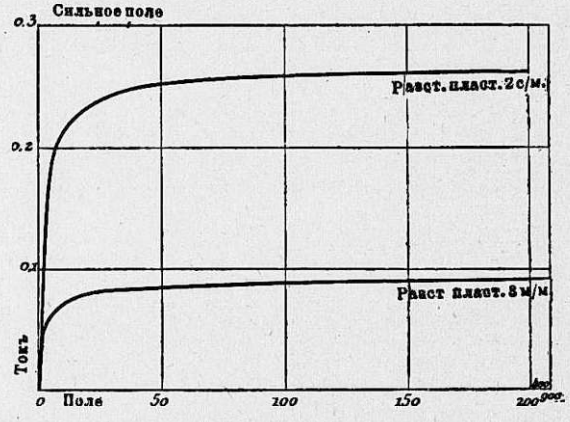
Фиг. 3 представляетъ ту же кривую въ другомъ масштабѣ и содержитъ только относительные результаты для слабыхъ разностей потенціала.

Въ началѣ кривая представляетъ прямую линію; частное отъ дѣленія силы тока на разность потенціала есть величина постоянная и можетъ служить мѣрою начальной проводимости воздуха между пластинками.

Такимъ образомъ, можно различать двѣ важныя характеристическія постоянныя наблюдаемаго явленія: 1) *Началь-*

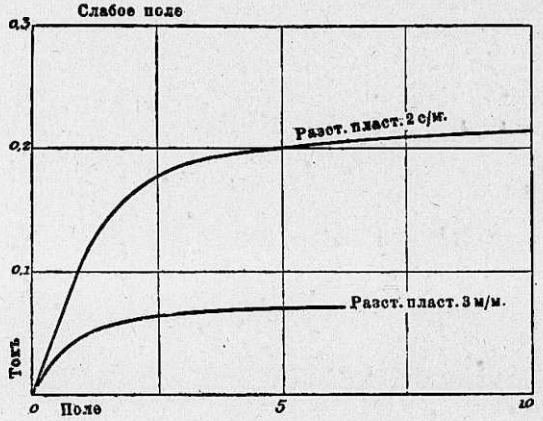
ная проводимость для слабыхъ разностей потенціала.

Фиг. 2.



2) *Предѣльный токъ* для значительныхъ разностей потенціала.

Фиг. 3.



Это есть тотъ предѣльный токъ, который принятъ нами, какъ мѣра радіоактивности.

Кромѣ той разности потенціала, которая введена между пластинками, между послѣдними существуетъ электродвижущая сила контакта, и обѣ эти причины тока соединяются между собою. Вотъ почему абсолютная величина силы тока мѣняется со знакомъ внѣшней разности потенціала. Однако,

при значительной разности потенціала, дѣйствіе электродвижущей силы контакта ничтожно и сила тока въ такомъ случаѣ не зависитъ отъ направленія электрическаго поля между пластинками.

Изученіе проводимости воздуха и другихъ газовъ, подвергнутыхъ дѣйствію лучей Беккереля, было сдѣлано многими физиками. [1]) Очень полное изслѣдованіе предмета было опубликовано Рузерфордомъ. [2])

Законы проводимости въ газахъ, являющейся благодаря лучамъ Беккереля, такіе же, какіе найдены для лучей Рентгена. Механизмъ явленія кажется одинаковымъ въ обоихъ случаяхъ. Теорія іонизаціи газовъ подъ дѣйствіемъ лучей Рентгена и Беккереля хорошо объясняетъ наблюдаемые факты.

Эта теорія не будетъ здѣсь изложена, я напомню только результаты, къ которымъ она приводитъ.

1) Количество іоновъ, производимыхъ въ газѣ въ секунду, считается пропорціональнымъ энергіи лученспусканія, поглощенной газомъ.

2) Чтобы получить предѣльный токъ для даннаго лученспусканія, необходимо, съ одной стороны, заставить газъ цѣликомъ поглотить это лученспусканіе, употребляя для этого достаточную поглощающую массу газа, съ другой стороны, необходимо утилизировать для образованія тока всѣ создавшіеся іоны, устанавливая электрическое поле настолько сильное, чтобы число іоновъ, которые соединяются снова, становилось незначительной частью цѣлаго числа іоновъ, образовавшихся въ то же время, которые почти всѣ, увлекаемые токомъ, переносятся къ электродамъ. Напряженіе электрическаго поля, необходимое для полученія этого результата, должно быть тѣмъ выше, чѣмъ сильнѣе іонизація.

По послѣднимъ опытамъ Товзенда явленіе сложнѣе, когда давленіе газа мало. Токъ, кажется, сначала стремится къ постоянной предѣльной величинѣ, когда увеличивается разность потенціаловъ; но, начиная съ нѣкоторой опредѣлен-

---

[1]) Becquerel, Comptes rendus t. CXXIV, p. 800, 1897.—Kelwin, Beattie et Smolan, Nature, t. LVI, 1897.—Beattie et Smoluchowski, Phil. Mag., t. XLIII, p. 418.

[2]) Rutherford, Phil. Mag., janvier 1899.

ной разности потенціаловъ, токъ снова начинаетъ расти, съ увеличеніемъ силы поля, съ весьма большой быстротой.

Товзендъ допускаетъ, что это увеличеніе обязано новой іонизаціи, производимой самими іонами, когда они подъ дѣйствіемъ электрическаго поля получаютъ скорость, достаточную для того, чтобы молекулу газа, встрѣченную однимъ изъ такихъ летящихъ ядеръ, разбить и раздѣлить ее на составляющіе іоны. Сильное электрическое поле и малое давленіе газа благопріятствуютъ этой іонизаціи посредствомъ уже присутствующихъ іоновъ и, лишь только эта новая іонизація начинается, сила тока возрастаетъ непрерывно съ увеличеніемъ силы поля, существующаго между пластинками.[1]) Итакъ, предѣльный токъ можетъ быть полученъ только отъ такихъ іонизирующихъ причинъ, напряженность которыхъ не превышаетъ нѣкоторой величины; такимъ образомъ, насыщеніе соотвѣтствуетъ полямъ, для которыхъ іонизація чрезъ удары іоновъ уже не можетъ имѣть мѣста. Это условіе осуществлено въ моихъ опытахъ.

Порядокъ величины токовъ при насыщеніи, которые получаются съ соединеніями урана 10^{-11} ампера для конденсатора, пластинки котораго имѣютъ 8 см. въ діаметрѣ и отстоятъ другъ отъ друга на 3 см. Соединенія торія даютъ токи такого же порядка и дѣйствія окиси урана и торія очень сходны.

Радіоактивность соединеній урана и торія.—Вотъ числа, которыя я получила съ различными соединеніями урана; я обозначаю черезъ i силу тока въ амперахъ.

	$i \times 10^{11}$.
Металлическій уранъ (содержащій немного углерода)	2,3
Черная окись урана $U_2 0_5$	2,6
Зеленая окись урана $U_3 0_4$	1,8
Урановая кислота	0,6
Ураново-натровая соль	1,2
Ураново-каліевая соль	1,2
Ураново-амміачная соль	1,3
Сѣрнокислая соль урана	0,7
Сѣрнокислая соль уранила и калія	0,7
Азотнокислый уранилъ	0,7
Фосфорнокислая соль мѣди и уранила	0,9
Сѣро-окись урана	1,2

[1]) Townsend, Phil. Mag. 1901, 6-e série, t. I, p. 193.

Взятая толщина слоя соединеній урана имѣетъ мало вліянія, лишь бы слой былъ сплошной. Вотъ нѣсколько опытовъ, относящихся къ этому:

	Толщина слоя. м.м.	$i \times 10^{11}$.
Окись урана	0,5	2,7
„ „	3,0	3,0
Ураново-амміачная соль	0,5	1,3
„ „ „	3,0	1.4

Изъ этого можно заключить, что поглощеніе лучей урана веществомъ, которое ихъ испускаетъ, очень сильно, поэтому лучи, выходящіе изъ глубокихъ слоевъ, не могутъ производить замѣтнаго дѣйствія.

Числа, которыя я получила съ соединеніями торія, позволяютъ мнѣ констатировать: [1]).

1) Что толщина употребляемаго слоя имѣетъ значительное вліяніе, особенно для окисей.

2) Что явленіе правильно только въ томъ случаѣ, если берутъ дѣйствующій слой тонкій (напр. 0,25 мм.), и, наоборотъ, когда употребляютъ толстый слой вещества, получаютъ числа, колеблющіяся между широкими предѣлами, особенно въ случаѣ окисей.

Окись торія.	Толщина слоя въ мм.	$i \times 10^{11}$.
„ „	0,25	2,2
„ „	0,5	2,5
„ „	2,5	4,7
„ „	3,0	5,5 въ среднемъ.
„ „	6,0	5,5
Сѣрнокислый торій.	0,25	0,8

Въ самой природѣ явленія есть причины для неправильности, которыхъ нѣтъ въ случаѣ съ соединеніями урана. Числа, полученныя для слоя окиси въ 6 мм. толщиной, варьируютъ между 3,7 и 7,3.

Опыты, которые я производила надъ поглощеніемъ лучей урана и торія, показали, что лучи торія болѣе проникающіе, чѣмъ лучи урана и что лучи, испускаемые окисью торія при толстомъ слоѣ, болѣе проникающіе, чѣмъ тѣ, которые онъ испускаетъ, будучи взятъ въ тонкомъ слоѣ. Вотъ, напримѣръ,

[1]) Mme Curie Comptes rendus, avril 1898.

числа, которыя обозначаютъ часть лученспусканія, пропущенную пластинкой аллюминія толщиной въ 0,01 мм.

Лучеиспускающія вещества.	Часть лученсп., пропущенная пласт.
Уранъ	0,18
Окись урана U_2O_5	0,20
Урановo-амміачная соль	0,20
Фосфорно-кислая соль мѣди и урана .	0,21
Окись торія при толщинѣ 0,25 мм. . .	0,38
„ „ „ „ 0,5 . .	0,47
„ „ „ „ 3,0 . .	0,70
„ „ „ „ 6,0 . .	0,70
Сѣрно-кислый торій 0,25 . .	0,38

Для соединеній урана поглощеніе одинаково, какое бы ни было взято соединеніе: это заставляетъ признать, что лучи, испускаемые различными соединеніями, одинаковы по природѣ.

Особенности лученспусканія торія составили предметъ весьма обстоятельныхъ работъ. Овенсъ [1]) показалъ, что постоянство тока достигается только по истеченіи довольно продолжительнаго промежутка времени въ замкнутомъ приборѣ и что сила тока сильно уменьшается потокомъ воздуха (чего не бываетъ съ соединеніями урана). Рузерфордъ производилъ подобные опыты и объяснилъ ихъ, допуская, что торій и его соединенія испускаютъ не только лучи Беккереля, но еще такъ называемую *эманацію*, состоящую изъ чрезвычайно мелкихъ частичекъ, которыя остаются радіоактивными нѣсколько времени спустя послѣ ихъ испусканія и могутъ быть увлечены потокомъ воздуха [2]).

Свойства радіоактивности торія, имѣющія отношеніе къ вліянію толщины взятаго слоя и къ дѣйствію потока воздуха, имѣютъ тѣсную связь съ явленіемъ такъ называемой *индуктированной радіоактивности и съ ея все большимъ и большимъ распространеніемъ*. Это явленіе было замѣчено впервые съ радіемъ и будетъ описано далѣе. Лучеиспусканіе соединеній урана и торія является атомическимъ свойствомъ.

Беккерель наблюдалъ, что всѣ соединенія урана активны и заключилъ, что ихъ активность обязана существованію элемента урана; онъ показалъ также, что уранъ гораздо активнѣе, чѣмъ его соли [1]).

Я изучала съ этой точки зрѣнія соединенія урана и торія и получила большое число степеней ихъ активности при различныхъ условіяхъ. Изъ совокупности этихъ измѣреній слѣдуетъ, что радіоактивность веществъ есть дѣйствительно атомическое свойство. Съ этой точки зрѣнія она кажется связанной съ существованіемъ атомовъ двухъ разсматриваемыхъ элементовъ и не уничтожается ни съ измѣненіемъ физическаго состоянія, ни чрезъ химическія превращенія. Химическія соединенія и смѣси, заключающія уранъ или торій, становятся тѣмъ болѣе активными, чѣмъ большую долю этихъ металловъ они содержатъ, всякое же не активное вещество дѣйствуетъ заразъ какъ вещество поглощающее и какъ вещество инертное.

Представляетъ-ли собой атомная радіоактивность явленіе общее?—Какъ сказано выше, я изслѣдовала вопросъ, являются-ли радіоактивными другія вещества, кромѣ соединеній урана и торія. Я предприняла это изслѣдованіе въ томъ предположеніи, что было бы очень мало-вѣроятно, чтобы радіоактивность, разсматриваемая какъ атомное свойство, принадлежала исключительно только одному роду матеріи. Сдѣланныя мною измѣренія позволяютъ мнѣ утверждать, что для химическихъ элементовъ, разсматриваемыхъ какъ таковые, въ томъ числѣ и для самыхъ рѣдкихъ и самыхъ гипотетическихъ, изученныя мною составныя вещества всегда оказывались по крайней мѣрѣ въ 100 разъ менѣе активными въ моихъ опытахъ, чѣмъ металлическій уранъ. Для элементовъ распространенныхъ я изслѣдовала весьма много соединеній, а изъ болѣе рѣдкихъ тѣлъ я изслѣдовала тѣ соединенія ихъ, какія могла достать.

Вотъ списокъ веществъ, которыя я подвергла изслѣдованію,—въ видѣ элементовъ или ихъ соединеній.

1) Всѣ легко находимые металлы или металлоиды и нѣкоторые, болѣе рѣдкіе, химически чистые продукты; я пользовалась при этомъ коллекціей г. Этаръ, въ Городской школѣ промышленной физики и химіи въ Парижѣ.

[1]) Owens, Phil. Mag., octobre 1899.

[2]) Rutherford, Phil. Mag., janvier 1900.

[1]) Becquerel, Comptes rendus, t. CXXII, p. 1086.

2) Слѣдующія рѣдкія тѣла: галлій, германій, неодимъ, празеодимъ, ніобій, скандій, гадолиній, эрбій, самарій и рубидій (любезно предоставленныя г. Демарсеемъ), иттрій, иттэрбій съ новымъ эрбіемъ (любезно предоставленныя г. Урбенъ). [1])

3) Большое число горныхъ породъ и минераловъ.

Въ предѣлахъ чувствительности моего прибора я не нашла простыхъ веществъ, за исключеніемъ урана и торія, — которыя имѣли бы атомную радіоактивность. Слѣдуетъ, впрочемъ, сказать нѣсколько словъ о томъ, что относится къ фосфору. Бѣлый влажный фосфоръ, помѣщенный между пластинками конденсатора, дѣлаетъ воздухъ междупластинками электропроводнымъ. [2]) Я не разсматриваю все же это тѣло, какъ радіоактивное, вродѣ урана и торія. Именно, въ этихъ условіяхъ фосфоръ окисляется и испускаетъ свѣтовые лучи, въ то время, какъ составныя вещества урана и торія радіоактивны, не обнаруживая при этомъ никакой химической модификаціи, могущей быть замѣченной извѣстными намъ средствами. Сверхъ того, фосфоръ не активенъ ни въ состояніи краснаго фосфора, ни въ его соединеніяхъ.

Въ своемъ недавнемъ трудѣ г. Блохъ показалъ, что фосфоръ, окисляясь въ присутствіи воздуха, даетъ образованіе очень мало подвижныхъ іоновъ, которые дѣлаютъ воздухъ проводникомъ и вызываютъ сгущеніе водяныхъ паровъ [3]).

Нѣкоторыя, недавно появившіяся работы, ведутъ къ допущенію, что радіоактивность принадлежитъ всѣмъ веществамъ въ крайне слабой степени [4]). Но тождественность этихъ очень слабыхъ явленій съ явленіями атомной радіоактивности нельзя еще разсматривать какъ установленную.

Уранъ и торій — суть два элемента съ наибольшимъ атомнымъ вѣсомъ (240 и 232); они встрѣчаются часто въ однихъ и тѣхъ же минералахъ.

---

[1]) Я очень признательна вышеупомянутымъ ученымъ, которымъ я обязана за предоставленіе мнѣ образцовъ для изслѣдованія. Равнымъ образомъ, я выражаю благодарность г. Муассаку за любезное предоставленіе мнѣ для работъ металлическаго урана.

[2]) Elster et Geitel, Wied. Ann. 1890.

[3]) Bloch, Société de Physique, 6 février 1903.

[4]) Mac. Lennan et Burton, Phil. Mag., juin 1903.— Strutt, Phil. Mag. juin 1903. Lester Gooke, Phil. Mag., octobre 1903.

Радіоактивные минералы.—Я изслѣдовала въ своемъ рядѣ опытовъ многіе минералы [1]). Нѣкоторые изъ нихъ оказались активными, между прочимъ, урановая смоляная руда, халколитъ, отунитъ, монацитъ, торитъ, оранжитъ, фергузонитъ, клевеитъ и др. Слѣдующая таблица даетъ въ амперахъ і силу тока, получаемаго металлическимъ ураномъ и различными минералами:

	$i \times 10^{11}$.
Уранъ	2,3
Урановая смоляная руда изъ Іоангеоргенштадта	8,3
„ „ „ изъ Іоахимсталя	7,0
„ „ „ изъ Пишбрана	6.5
„ „ „ изъ Корнвалисса	1,6
Клевеитъ	1,4
Халколитъ	5,2
Отунитъ	2,7
Различные ториты	0,1
	0,3
	0,7
	1,3
	1,4
Оранжитъ	2,0
Монацитъ	0,5
Ксенотимъ	0,03
Эшинитъ	0,7
Фергузонитъ 2 образца	0,4
	0,1
Самарскитъ	1,1
Ніобитъ 2 образца	0,1
	0,3
Танталитъ	0,02
Карнотитъ [2])	6,2

Токъ, получаемый съ оранжитомъ (минералъ, содержащій окись торія), сильно варьировалъ вмѣстѣ съ толщиной взятаго слоя. Увеличивая эту толщину съ 0,25 мм. до 6 мм., я получала увеличеніе тока съ 1,8 до 2,3.

Всѣ минералы, которые оказываются радіоактивными заключаютъ въ себѣ уранъ или торій; ихъ активность не заключаетъ въ себѣ ничего удивительнаго, но интенсивность

---

[1]) Нѣкоторые образцы минераловъ изъ коллекціи Музея были любезно предоставлены въ мое распоряженіе г. Лакруа.

[2]) Карнотитъ есть ванадистое соединеніе урана, недавно открытое Фриделемъ и Куманжъ.

явленія въ нѣкоторыхъ минералахъ является неожиданностью. Такъ, попадаются урановыя смоляныя руды (минералъ, содержащій окись урана), которыя въ четыре раза активнѣе металлическаго урана. Халколитъ (кристаллическая соль мѣди и урана) въ два раза активнѣе урана. Отунитъ (фосфорно-кислая соль урана и извести) столь-же активенъ, какъ и ураиъ. Эти факты противорѣчили прежнимъ разсужденіямъ, по которымъ ни одинъ минералъ не могъ обнаружить больше активности, чѣмъ ураиъ или торій.

Чтобы освѣтить этотъ пунктъ, я приготовила искусственный халколитъ по способу Дебрея, исходя изъ химически чистыхъ веществъ. По этому способу смѣшиваютъ азотнокислый растворъ уранила съ растворомъ фосфорно-мѣдной соли въ фосфорной кислотѣ и смѣсь нагрѣваютъ до 50 или до 60 градусовъ. Чрезъ нѣкоторое время въ жидкости образуются кристаллы халколита. [1]) Халколитъ, приготовленный такимъ способомъ, обладаетъ вполнѣ нормальной активностью, соотвѣтствующей его составу; онъ въ $2^1/_2$ раза менѣе активенъ, чѣмъ ураиъ.

Отсюда становилось очень вѣроятнымъ, что если урановая смоляная руда, халколитъ и отунитъ обладаютъ столь сильной активностью, то это потому, что эти вещества заключаютъ въ себѣ въ небольшомъ количествѣ сильно-радіоактивную матерію, которая не тождественна съ ураномъ, торіемъ и простыми тѣлами, извѣстными до сихъ поръ. Я предположила, что если это дѣйствительно такъ, то я могу надѣяться извлечь изъ руды эту матерію обыкновенными способами химическаго анализа.

Глава II.

Новыя радіоактивныя вещества.

Методъ изслѣдованія. Результаты изученія радіоактивныхъ минераловъ, изложенные въ предыдущей главѣ, побудили насъ, г. Кюри и меня, постараться извлечь изъ урановой смоляной руды новое радіоактивное вещество. Нашъ

[1]) Debray, Ann. de Chim. et de Phis. 3-e série, t. LXI, p. 445.

методъ изслѣдованія могъ быть основанъ только на радіоактивности, такъ какъ мы не знали никакого другого свойства этого гипотетическаго вещества. Вотъ какъ можно пользоваться радіоактивностью для изслѣдованія подобнаго рода. Для этого измѣряютъ радіоактивность даннаго продукта, дѣлаютъ его химическое расчлененіе, измѣряютъ радіоактивность всѣхъ полученныхъ при этомъ тѣлъ и убѣждаются въ томъ, осталось-ли радіоактивное вещество цѣликомъ въ одномъ изъ производныхъ или оно распредѣлилось между всѣми ими и въ какой пропорціи. Такимъ образомъ, получается указатель, который до извѣстной степени можно сравнить съ указателемъ, получаемымъ посредствомъ спектральнаго анализа. Чтобы числа были сравнимыя, нужно измѣрять активность веществъ въ твердомъ и хорошо высушенномъ состояніи.

Полоній, радій, актиній.—Анализъ урановой смоляной руды, при посредствѣ только что изложеннаго метода, далъ намъ право установить существованіе въ этомъ минералѣ двухъ сильно-радіоактивныхъ веществъ, химически различныхъ между собой: полонія, найденнаго нами, и радія, открытаго нами въ сотрудничествѣ съ Бемономъ. [1])

Полоній есть вещество близкое по своимъ химическимъ реакціямъ къ висмуту и сопровождаетъ его въ продуктахъ выдѣленія. Получаютъ висмутъ все болѣе и болѣе богатый полоніемъ однимъ изъ слѣдующихъ способовъ фракціонировки.

1) Возгонка сѣрнистыхъ соединеній въ пустотѣ; активное сѣрнистое соединеніе гораздо болѣе летуче, чѣмъ сѣрнистый висмутъ.

2) Осажденіе азотнокислыхъ растворовъ водой; осажденная основная азотно-кислая соль гораздо активнѣе, чѣмъ соль, остающаяся въ растворѣ.

3) Осажденіе сѣрнистымъ водородомъ изъ очень кислаго раствора въ соляной кислотѣ; осажденныя сѣрнистыя соединенія значительно активнѣе, чѣмъ соль, остающаяся въ растворѣ.

Радій есть вещество, сопровождающее извлеченный изъ урановой смоляной руды барій; онъ слѣдуетъ за баріемъ по

[1]) P. Curie et M-me Curie, Comptes rendus, juillet 1898.— P. Curie, M-me Curie et G. Bemont, Comptes rendus, décembre 1898.

своимъ химическимъ реакціямъ и можетъ быть отъ него отдѣленъ, благодаря разницѣ въ растворимости ихъ хлористыхъ соединеній въ водѣ, въ водномъ растворѣ спирта и въ водѣ, подкисленной соляной кислотой. Мы достигали раздѣленія хлористыхъ солей барія и радія, подвергая ихъ смѣсь дробной кристаллизаціи: соль радія менѣе растворима, чѣмъ барія.

Третье сильно радіоактивное вещество было обнаружено въ урановой смоляной рудѣ г. Дебирномъ, который далъ ему имя „актинія“ [1]). Актиній сопровождаетъ нѣкоторыя тѣла, группы желѣза, содержащіяся въ урановой рудѣ; онъ, повидимому, ближе всего къ торію, отъ котораго до сихъ поръ не могъ быть отдѣленъ. Выдѣленіе актинія изъ урановой смоляной руды очень трудная операція и расчлененіе бываетъ обыкновенно неполное.

Всѣ три новыя радіоактивныя вещества несомнѣнно находятся въ урановой смоляной рудѣ въ безконечно-маломъ количествѣ. Чтобы получить ихъ въ концентрированномъ видѣ, мы были вынуждены предпринять обработку нѣсколькихъ тоннъ остатковъ, получающихся при добываніи урановой руды. Первоначальная обработка производилась на заводѣ, за ней слѣдовала вся работа очистки и концентраціи. Такимъ путемъ намъ удалось выдѣлить изъ этихъ тысячъ килограммъ первоначальнаго вещества нѣсколько дециграммъ тѣлъ и эти послѣднія оказались необыкновенно активными въ сравненіи съ минералами, изъ которыхъ они были извлечены. Понятно, что подобная работа въ ея цѣломъ продолжительна, трудна и дорога [2]).

---

[1]) Debierne, Comptes rendus, octobre 1899 et avril 1900.

[2]) Мы очень многимъ обязаны тѣмъ лицамъ, которыя пришли къ намъ на помощь въ этомъ трудѣ. Мы искренно благодарны гг. Маскару и Леви за ихъ благосклонное содѣйствіе. Благодаря любезному содѣйствію пр. Суэссъ, австрійскія власти предоставили въ наше распоряженіе первую тонну остатковъ обработанной урановой руды (на правительствен. заводѣ въ Іоахимсталѣ, въ Чехіи). Академія Наукъ въ Парижѣ, Общество Поощренія національной индустріи и одинъ анонимный жертвователь доставили намъ средства для обработки извѣстнаго количества этого продукта. Нашъ другъ г. Дебирнъ организовалъ эту обработку на заводѣ Центральнаго Общества химическихъ продуктовъ. Это Общество согласилось произвести обработку безвозмездно. Всѣмъ выражаемъ мы нашу искреннюю благодарность. Въ послѣднее время Французскій Институтъ предоставилъ намъ 20000 фр. для извлеченія радіоактивныхъ веществъ. Эта сумма дала намъ возможность начать обработку 5t руды.

Еще другія новыя радіоактивныя вещества были намѣчены вслѣдъ за нашей работой. Гизель, съ одной стороны, Гофманъ и Штрауссъ, съ другой, заявили о вѣроятномъ существованіи радіоактивнаго вещества, по своимъ химическимъ свойствамъ близкаго къ свинцу. Объ этомъ послѣднемъ существуетъ пока мало указаній [1]).

Изъ всѣхъ новыхъ радіоактивныхъ веществъ радій есть единственный до сихъ поръ, который былъ изолированъ въ видѣ чистой соли.

Спектръ радія. Первымъ долгомъ надо было провѣрить всѣми возможными способами правильность положенной въ основу этого труда гипотезы о существованіи новыхъ радіоактивныхъ элементовъ. Спектральный анализъ, въ отношеніи къ радію, вполнѣ подтвердилъ эту гипотезу.

Демарсей любезно взялъ на себя изслѣдованіе новыхъ радіоактивныхъ веществъ тѣмъ строго-точнымъ способомъ, который онъ примѣняетъ въ изученіи фотографированныхъ спектровъ искры.

Участіе столь компетентнаго ученаго было для насъ большимъ благодѣяніемъ, и мы выражаемъ ему нашу глубокую признательность за его согласіе взять на себя этотъ трудъ. Результаты спектральнаго анализа привели насъ къ полной увѣренности, тогда какъ до того мы колебались въ истолкованіи результатовъ нашихъ изслѣдованій [2]).

Первые образцы хлористаго барія, содержащаго радій, средней активности, изслѣдованные г. Демарсеемъ, показали ему, одновременно съ линіями барія, новую линію значительной интенсивности и съ длиной волны $\lambda = 38{,}47\ \mu\mu$, въ ультрафіолетовой части спектра. Съ болѣе активными экземп-

---

[1]) Giesel, Ber. deutsch. chem. Gesell. T½ XXXIV 1901, p. 3775.— Hoffmann et Strauss, Ber. deutsch. chem. Gesell. t. XXXIII, 1900. p. 3126.

[2]) Мы совсѣмъ недавно съ горестью присутствовали при смерти этого выдающагося ученаго; онъ умеръ во время своихъ прекрасныхъ изслѣдованій рѣдкихъ земель и спектроскопій; нельзя было достаточно надивиться совершенству и точности употреблявшихся имъ методовъ. Мы хранимъ воспоминаніе о необыкновенной любезности, съ которой онъ согласился принять участіе въ нашей работѣ.

лярами, приготовленными позже, Демарсей увидѣлъ, что линія, въ 38, μμ, 47, усилилась, въ то же время появились другія новыя линіи въ спектрѣ. Эти новыя линіи и линіи барія имѣли сравнимую интенсивность. Новая, еще большая концентрація доставила продуктъ, въ которомъ новый спектръ преобладаетъ, а три, болѣе замѣтныя линіи барія, единственно видимыя, указываютъ только на примѣсь этого металла. Этотъ продуктъ можно разсматривать какъ хлористый радій, почти чистый. Наконецъ, мнѣ удалось, путемъ новой очистки, получить вполнѣ чистую хлористую соль, въ спектрѣ которой двѣ главныя линіи спектра барія едва видимы.

Вотъ, по Демарсею [1]) таблица главныхъ линій радія для части спектра, заключающейся между λ=500,0 и λ=350,0 тысячныхъ микрона (μ μ). Интенсивность каждой линіи выражена числомъ, самая густая линія обозначена числомъ 16.

λ	Интенсивность.	λ	Интенсивность.
482,63	10	453,35	9
472,69	5	443,61	8
469,98	3	434,06	12
469,21	7	381,47	16
468,30	14	364,96	12
464,19	4		

Всѣ линіи чистыя и узкія, три линіи 381,47, 468,30 и 434,06 очень сильны; онѣ достигаютъ равенства съ наиболѣе интенсивными изъ нынѣ извѣстныхъ намъ линій. Равнымъ образомъ, мы замѣчаемъ въ спектрѣ двѣ туманныя густыя полосы. Первая, симметричная, тянется отъ 463,10 до 462,19 съ максимумомъ въ 462,75. Другая, болѣе густая, ослабляющаяся въ сторону ультра-фіолетовой части; она рѣзко начинается на 446,37, проходитъ черезъ максимумъ 445,52; область максимума тянется до 445,34, потомъ туманная полоса постепенно ослабляется, распространяясь до 439.

Въ менѣе преломляемой, не сфотографированной части спектра искры единственная замѣтная линія соотвѣтствуетъ 566,5 (приблизительно); она, однако, значительно слабѣе, чѣмъ 482,63.

[1]) Demarçay, Comptes rendus, décembre 1898, novembre 1899 et juillet 1900.

Общій видъ спектра такой, какъ у щелочно-земельныхъ металловъ; извѣстно, что спектры этихъ металловъ имѣютъ рѣзкія линіи съ нѣсколькими туманными полосами.

По Демарсею, радій можно причислить къ тѣламъ, дающимъ самую чувствительную спектральную реакцію. Кромѣ того, я вправѣ заключить, основываясь на своей работѣ о концентраціи, что въ первомъ изслѣдованномъ образцѣ, который давалъ точно линію въ 381,47, содержаніе радія должно быть очень мало (быть можетъ, 0,02%). Однако, нужно активность въ 50 разъ большую, чѣмъ активность металлическаго урана, чтобы явственно замѣтить главную линію радія на фотографіи спектра. Съ помощью чувствительнаго электрометра можно обнаружить радіоактивность даннаго тѣла, когда она равна только 1/100 радіоактивности металлическаго урана. *Очевидно, что для обнаруженія присутствія радія, радіоактивность есть свойство въ тысячу разъ болѣе чувствительное, чѣмъ спектральный анализъ.*

Висмутъ съ очень активнымъ полоніемъ и торій съ актиніемъ, изслѣдованные Демарсеемъ, соотвѣтственно дали только линіи висмута и торія.

Въ одномъ изъ своихъ недавнихъ сообщеній г. Гизель [1]), занятый приготовленіемъ радія, заявилъ, что бромистое соединеніе радія обусловливаетъ карминокрасное окрашиваніе пламени. Спектръ пламени радія содержитъ двѣ красивыя красныя полосы, одну линію въ сине-зеленой и двѣ слабыя линіи въ фіолетовой части спектра.

Извлеченіе новыхъ радіоактивныхъ веществъ. — Первая часть операціи состоитъ въ извлеченіи изъ урановой руды барія, содержащаго радій, висмута съ полоніемъ и рѣдкихъ земель, содержащихъ актиній. Когда эти три первыхъ продукта получены, стараются въ каждомъ изъ нихъ изолировать новое радіоактивное вещество. Эта вторая часть работы дѣлается по методу фракціонировки. Извѣстно, какъ трудно найти средство вполнѣ совершеннаго раздѣленія очень близкихъ между собой элементовъ; методы же фракціонировки все же намѣчены. Затѣмъ, когда одинъ элементъ находится въ смѣси съ другимъ въ видѣ только слѣдовъ, то невозможно примѣнить къ смѣси методъ полнаго раздѣленія, даже

[1]) Giesel. Phys. Zeitschrift, 15 septembre 1902.

допуская, что мы этотъ методъ знали бы; именно мы рисковали бы потерять слѣды вещества, которое могло бы отдѣлиться во время работы.

Я спеціально занялась работой, поставивъ себѣ цѣлью изолированіе радія и полонія. Послѣ нѣсколькихъ лѣтъ работы я достигла своей цѣли только въ отношеніи перваго изъ этихъ тѣлъ.

Ввиду дороговизны урановой смоляной руды, мы отказались отъ оперированія надъ нею въ большихъ количествахъ. Въ Европѣ этотъ родъ руды добываютъ въ рудникѣ Іоахимсталь въ Чехіи. Растолченную руду прокаливаютъ съ содою и все остающееся отъ этой обработки сначала выщелачиваютъ теплой водой, потомъ разведенной сѣрной кислотой. Растворъ содержитъ уранъ, который и дѣлаетъ цѣнной урановую смоляную руду. Нерастворимый остатокъ отбрасываютъ.

Этотъ остатокъ содержитъ радіоактивныя вещества; его активность въ $4^1/_2$ раза превышаетъ активность металлическаго урана. Австрійское правительство, которому принадлежитъ рудникъ, благосклонно дало намъ тонну этого остатка для нашихъ изслѣдованій и разрѣшило руднику доставить намъ еще нѣсколько тоннъ.

Было вовсе не легко сдѣлать первую обработку руды на заводѣ тѣмъ же способомъ, какъ въ лабораторіи.

Г. Дебирнъ взялъ на себя изучить этотъ вопросъ и организовать обработку на заводѣ. Важнѣйшій моментъ указаннаго имъ метода состоитъ въ превращеніи сѣрно-кислыхъ соединеній въ углекислыя посредствомъ кипяченія вещества съ крѣпкимъ растворомъ соды. Этотъ методъ позволяетъ избѣжать сплавленія съ содою.

Остатокъ содержитъ, главнымъ образомъ, сѣрнокислыя соли свинца и извести, кремнеземъ, глиноземъ и окись желѣза. Кромѣ того, мы находимъ здѣсь, въ большемъ или меньшемъ количествѣ, почти всѣ металлы (мѣдь, висмутъ, цинкъ, кобальтъ, марганецъ, никкель, ванадій, ніобій, сурьма, таллій, рѣдкія земли, танталъ, мышьякъ, барій и др.). Радій находится въ этой смѣси въ состояніи сѣрнокислой соли, наименѣе растворимой. Чтобы перевести его въ растворъ, надо насколько возможно удалить сѣрную кислоту. Для этого начинаютъ съ обработки остатка концентрированнымъ

кипящимъ растворомъ обыкновенной соды. Сѣрная кислота, соединенная со свинцомъ, аллюминіемъ и известью, переходитъ большей своей частью въ растворъ въ состояніи сѣрнокислаго натра, который удаляютъ промываніемъ водой. Щелочный растворъ извлекаетъ вмѣстѣ съ тѣмъ свинецъ, кремнеземъ и глиноземъ. Нерастворимую часть, промывъ ее водой, обрабатываютъ обыкновенной соляной кислотой. Этой операціей достигается полная дезагрегація вещества и переходъ большей части ея въ растворъ. Изъ этого раствора уже можно выдѣлить полоній и актиній: первый осаждается сѣрнистымъ водородомъ, второй находится въ гидратахъ, осажденныхъ амміакомъ изъ раствора, отдѣленнаго отъ сѣрнистыхъ соединеній и окисленнаго. Что касается до радія, то онъ остается въ нерастворимой порціи. Эту порцію промываютъ водой, затѣмъ обрабатываютъ концентрированнымъ кипящимъ растворомъ соды. Когда остается лишь малое количество неизмѣненныхъ сѣрнистыхъ соединеній, то въ результатѣ этой операціи получимъ полный переходъ сѣрнокислыхъ соединеній барія и радія въ углекислыя. Затѣмъ очень тщательно промываютъ полученное вещество водой, потомъ обрабатываютъ его разведенной соляной кислотой, не содержащей сѣрной кислоты. Растворъ содержитъ радій, равно какъ и полоній, и актиній. Затѣмъ растворъ фильтруютъ и осаждаютъ сѣрной кислотой. Мы получаемъ, такимъ образомъ, неочищенныя сѣрнокислыя соли барія, заключающія радій и содержащія кромѣ того известь, свинецъ, желѣзо и увлекшія за собой также немного актинія. Растворъ содержитъ еще немного актинія и полонія, которые можно выдѣлить оттуда такъ же, какъ и изъ перваго соляно-кислаго раствора.

Изъ одной тонны остатка получается отъ 10 — 20 кил. неочищенныхъ сѣрнокислыхъ солей, активность которыхъ отъ 30 до 60 разъ превышаетъ активность металлическаго урана. Затѣмъ приступаютъ къ очисткѣ. Для этого ихъ кипятятъ съ содою и переводятъ ихъ въ хлористыя соединенія. Растворъ обрабатываютъ сѣрнистымъ водородомъ, въ результатѣ чего получается небольшое количество активныхъ сѣрнистыхъ соединеній, содержащихъ полоній. Растворъ фильтруютъ, окисляютъ его дѣйствіемъ хлора и осаждаютъ чистымъ амміакомъ.

Получающіеся въ осадкѣ окиси и гидраты очень активны

и активность эта зависитъ отъ присутствія актинія. Фильтрованный растворъ осаждаютъ содою. Осажденныя углекислыя соли щелочныхъ земель промываютъ и переводятъ въ хлористыя.

Эти хлористыя соли выпариваютъ до суха и промываютъ чистой концентрированной соляной кислотой. Хлористый кальцій растворяется почти совершенно, тогда какъ хлористый барій, содержащій радій, остается нерастворенным. Такимъ образомъ, изъ одной тонны первоначальнаго вещества получается около 8 килом. радіоноснаго хлористаго барія, активность котораго приблизительно въ 60 разъ больше активности металлическаго урана. Эта хлористая соль готова для фракціонировки.

Полоній.—Какъ сказано выше, при дѣйствіи сѣрнистаго водорода на различные, полученные во время обработки, солянокислые растворы, мы получаемъ активныя сѣрнистыя соединенія, обязанныя своей активностью полонію.

Эти сѣрнистыя соединенія содержатъ, главнымъ образомъ, висмутъ, немного мѣди и свинца; этотъ послѣдній входитъ сюда въ слабой пропорціи, такъ какъ большая его часть увлечена содовымъ растворомъ, да и солянокислая соль его мало растворима. Сурьма и мышьякъ входятъ сюда въ видѣ окиси только въ минимальныхъ количествахъ, такъ какъ ихъ окиси были уже раньше растворены содой. Чтобы имѣть затѣмъ активныя сѣрнистыя соединенія, употреблялся слѣдующій пріемъ: очень кислые растворы въ соляной кислотѣ осаждались сѣрнистымъ водородомъ; осаждающіяся при этихъ условіяхъ сѣрнистыя соли очень активны; ихъ употребляютъ для приготовленія полонія; въ растворѣ остаются вещества, осаждаемость которыхъ въ присутствіи избытка соляной кислоты — неполная (висмутъ, свинецъ, сурьма). Чтобы закончить осажденіе, разводятъ растворъ водой, снова обрабатываютъ сѣрнистымъ водородомъ и получаютъ вторую порцію сѣрнистыхъ соединеній, гораздо менѣе активныхъ, чѣмъ первыя, которую обыкновенно отбрасываютъ. Для дальнѣйшей очистки сѣрнистыхъ соединеній ихъ промываютъ сѣрнистымъ аммоніемъ и удаляютъ этимъ оставшіеся слѣды сурьмы и мышьяка. Затѣмъ ихъ промываютъ водой, съ прибавленіемъ азотно-кислаго аммонія, и обрабатываютъ разведенной азотной кислотой.

Растворимость никогда не бываетъ полной; всегда получается нерастворимый остатокъ, болѣе или менѣе значительный; если это находятъ полезнымъ, его обрабатываютъ снова. Растворъ приводятъ къ малому объему и осаждаютъ либо аммоніемъ, либо избыткомъ воды. Въ томъ и другомъ случаѣ мѣдь и свинецъ остаются въ растворѣ; равнымъ образомъ, во второмъ случаѣ остается растворенным небольшое количество едва-активнаго висмута.

Осадокъ окисей или азотно-кислыхъ соединеній подвергаютъ раздѣленію слѣдующимъ образомъ: осадокъ растворяютъ въ азотной кислотѣ и прибавляютъ къ раствору воды до образованія достаточнаго количества осадка; при этой операціи надо имѣть въ виду, что осадокъ иногда образуется только чрезъ нѣкоторое время. Осадокъ отдѣляютъ отъ находящейся сверху жидкости и снова растворяютъ его въ азотной кислотѣ; двѣ полученныя такимъ образомъ порціи жидкости снова осаждаютъ водой и т. д. Разныя порціи соединяютъ, основываясь на ихъ активности, и стараются увеличивать концентрацію насколько возможно. Такимъ образомъ, мы получаемъ очень малое количество вещества съ необычайно большой активностью, но это вещество пока дало въ спектроскопѣ только линію висмута.

Къ сожалѣнію, у насъ мало шансовъ добиться такимъ путемъ изолированія полонія. Только что описанный методъ расчлененія представляетъ собой большія трудности; то же самое нужно сказать и о другихъ способахъ расчлененія мокрымъ путемъ. Какой процессъ мы ни употребили бы, съ величайшей легкостью образуются соединенія, абсолютно нерастворимыя въ кислотахъ, разведенныхъ или концентрированныхъ. Эти соединенія могутъ быть снова растворены только путемъ предварительнаго перевода ихъ въ металлическое состояніе, напр., посредствомъ сплавленія ихъ съ ціанистымъ каліемъ.

Это обстоятельство, при которомъ необходимыя операціи становятся очень многочисленными, создаетъ невѣроятную трудность для успѣшности расчлененія. Это неудобство увеличивается еще тѣмъ, что полоній есть вещество, которое, будучи однажды выдѣлено изъ урановой смоляной руды, уменьшается въ своей активности.

Это уменьшеніе активности идетъ, впрочемъ, медленно; такъ, напримѣръ, одинъ образецъ азотно-кислаго висмута

съ полоніемъ потерялъ половину своей силы черезъ одиннадцать мѣсяцевъ.

Подобнаго затрудненія совершенно не представляется для радія. Радіоактивность остается вѣрнымъ указателемъ концентраціи; самая концентрація не представляетъ никакой трудности и ее можно постоянно провѣрять съ начала опытовъ спектральнымъ анализомъ.

Когда выяснилось явленіе такъ называемой индуктированной радіоактивности, о чемъ будетъ рѣчь далѣе, стало возможнымъ принять, что полоній, который даетъ только линіи висмута и активность котораго уменьшается со временемъ, не есть новый элементъ, но что въ данномъ случаѣ висмутъ дѣлается активнымъ отъ сосѣдства съ радіемъ въ урановой смоляной рудѣ. Я не убѣждена, что этотъ взглядъ вполнѣ правиленъ. Въ своихъ работахъ, продолжавшихся надъ полоніемъ, я обнаружила химическія дѣйствія, которыхъ никогда не наблюдала ни съ висмутомъ обыкновеннымъ, ни съ висмутомъ, пріобрѣвшимъ активность отъ радія. Эти химическія дѣйствія суть, во-первыхъ, чрезвычайно легкое образованіе нерастворимыхъ соединеній, о которыхъ я говорила выше (особенно азотистыхъ), во-вторыхъ, цвѣтъ и видъ полученныхъ осадковъ, полученныхъ при прибавленіи воды къ раствору въ азотной кислотѣ висмута, содержащаго полоній. Эти осадки иногда бѣлые, но вообще съ болѣе или менѣе ясною желтизной, переходящей въ темнокрасную.

Отсутствіе въ спектрѣ другихъ линій, кромѣ линій висмута, не доказываетъ рѣшительно, что вещество не содержитъ ничего, кромѣ висмута, такъ какъ существуютъ тѣла, для которыхъ спектральный анализъ мало чувствителенъ.

Необходимо приготовить небольшое количество содержащаго полоній висмута, доведеннаго до такой концентраціи, какая только возможна, и произвести съ нимъ химическія изслѣдованія, прежде всего опредѣленіе атомнаго вѣса металла. Это изысканіе не могло быть выполнено по причинѣ трудности химической работы, указанной выше.

Если-бы было доказано, что полоній есть новый элементъ, было бы не менѣе справедливо, что этотъ элементъ не можетъ безконечно существовать въ состояніи чрезвычайно радіоактивномъ, по крайней мѣрѣ, когда онъ полученъ изъ руды. Можно тогда разсматривать вопросъ съ двухъ различныхъ сторонъ:

1) или вся активность полонія есть индуктированная, происходящая благодаря сосѣдству съ нимъ радіоактивныхъ веществъ; полоній обладаетъ тогда способностью пріобрѣтать активность атомически на продолжительное время, способностью, повидимому, не свойственною другимъ веществамъ; 2) или активность полонія есть собственная активность, которая уничтожается самопроизвольно при нѣкоторыхъ условіяхъ и можетъ оставаться постоянною въ нѣкоторыхъ другихъ условіяхъ, которыя осуществляются въ минералахъ. Явленіе возбужденія атомной активности при контактѣ еще столь мало извѣстно, что не можетъ служить основаніемъ для какихъ нибудь выводовъ, касающихся этого вопроса.

Совсѣмъ недавно появилось сочиненіе Марквальда о полоніи [1]). Марквальдъ погружаетъ палочку чистаго висмута въ растворъ хлористаго висмута, полученнаго изъ осадка при обработкѣ урановой смоляной руды. Спустя нѣкоторое время, палочка покрывается весьма активнымъ слоемъ, а растворъ уже содержитъ только не активный висмутъ. Марквальдъ получилъ также весьма активный слой, прибавляя хлористаго олова къ раствору радіоактивнаго висмута въ соляной кислотѣ. Марквальдъ заключилъ изъ этого, что активный элементъ подобенъ теллуру и назвалъ его радіотеллуромъ. Дѣятельное вещество Марквальда кажется одинаковымъ съ полоніемъ по происхожденію и по лучамъ, сильно поглощаемымъ, которые оно испускаетъ. Выборъ новаго имени для этого вещества, конечно, излишенъ при настоящемъ положеніи вопроса.

Приготовленіе чистаго хлористаго соединенія радія.— Способъ, который я избрала для извлеченія чистаго хлористаго соединенія радія изъ хлористаго радіоактивнаго барія, состоитъ въ томъ, чтобы подвергнуть смѣсь хлористыхъ соединеній дробной кристаллизаціи, сначала въ чистой водѣ, затѣмъ въ водѣ съ прибавленіемъ чистой соляной кислоты. Пользуются также разницею въ растворимости этихъ двухъ хлористыхъ соединеній: растворъ радія менѣе растворимъ, чѣмъ барія.

При началѣ кристаллизаціи употребляютъ чистую дистиллированную воду. Растворяютъ хлористое соединеніе и доводятъ раствореніе до насыщенія при температурѣ кипѣнія,

---

[1]) *Berichte d. deutsch. chem. Gesell.,* juin 1902 et décembre 1902.

потомъ даютъ кристаллизоваться въ закрытомъ сосудѣ. Тогда на днѣ остаются прекрасные, крѣпко приставшіе ко дну сосуда сросшіеся кристаллы, благодаря чему насыщенный оставшійся растворъ можно легко слить. Если выпарить досуха пробу этого раствора, то окажется, что полученное хлористое соединеніе почти въ пять разъ менѣе активно, чѣмъ то, которое выкристаллизовалось.

Раздѣляютъ, такимъ образомъ, хлористое соединеніе на двѣ порціи: A и B. Порція A гораздо болѣе активна, чѣмъ B. Снова начинаютъ надъ каждой изъ порцій A и B однѣ и тѣ же операціи и получаютъ для каждой изъ нихъ двѣ новыя порціи. Когда кристаллизація кончена, соединяютъ вмѣстѣ часть менѣе активную порціи A и часть болѣе активную порціи B—это двѣ порціи, имѣющія почти совершенно одинаковую активность. Такимъ образомъ, получаются три порціи, которыя подвергаютъ снова такой же обработкѣ.

Не позволяютъ, однако, постоянно увеличиваться числу порцій. По мѣрѣ того, какъ число порцій увеличивается, активность части болѣе растворимой уменьшается. Когда эта порція будетъ имѣть уже ничтожную активность, ее устраняютъ отъ дальнѣйшей фракціонировки. Когда получится желаемое число порцій, прекращаютъ также дѣлить порцію менѣе растворимую (которая содержитъ наиболѣе радія) и исключаютъ ее изъ фракціонировки.

Опыты ведутся съ постояннымъ числомъ порцій. Послѣ каждаго ряда опытовъ, насыщенный растворъ, полученный изъ одной порціи, выливается на кристаллы, полученные изъ слѣдующей порціи; если послѣ одной серіи обработки уже исключили часть болѣе растворимую, послѣ слѣдующей, наоборотъ, приготовляютъ новую порцію съ частью болѣе растворимою и отдѣляютъ кристаллы, которые составляютъ порцію болѣе активную. Черезъ цѣлый рядъ чередующихся этихъ двухъ родовъ манипуляцій получается правильный механизмъ дѣленія, въ которомъ число порцій и активность каждой изъ нихъ остаются постоянными; каждая порція почти въ пять разъ болѣе активна, чѣмъ слѣдующая и въ ней, съ одной стороны, исключаютъ почти бездѣйствующій продуктъ, въ то время, какъ съ другой стороны собираютъ хлористое соединеніе, обогащенное радіемъ. Количество вещества, содержащееся въ порціяхъ, неизбѣжно при томъ умень-

шается и различныя порціи содержатъ тѣмъ меньше вещества, чѣмъ онѣ болѣе активны.

Сначала мы производили опыты съ шестью порціями, и активность хлористаго соединенія, которымъ мы пренебрегали, равнялась 0,1 активности урана.

Когда исключатъ, такимъ образомъ, большую часть бездѣйствующаго вещества и порціи станутъ малы, продолжать выдѣленіе при такой слабой активности не имѣетъ цѣли. Фракціонировку послѣдней порціи отбрасываютъ и къ первой порціи прибавляютъ активное хлористое соединеніе, полученное при предыдущей обработкѣ. Такимъ образомъ, теперь получается хлористое соединеніе болѣе богатое радіемъ, чѣмъ раньше. Эту систему продолжаютъ примѣнять до тѣхъ поръ, пока кристаллы высшей (наиболѣе богатой радіемъ) порціи не будутъ представлять изъ себя хлористаго соединенія чистаго радія. Если фракціонировка велась вполнѣ тщательно, остаются лишь очень маленькія количества всѣхъ промежуточныхъ производныхъ.

Когда фракціонировка доведена до извѣстнаго предѣла и количество вещества стало уже въ каждой порціи небольшимъ, отдѣленіе посредствомъ кристаллизаціи менѣе дѣйствительно, такъ какъ охлажденіе слишкомъ быстро и объемъ сливаемаго раствора очень малъ. Тогда нужно къ раствору прибавить опредѣленное количество соляной кислоты; это количество должно возрастать по мѣрѣ того, какъ подвигается фракціонировка.

Выгода отъ этого прибавленія состоитъ въ увеличеніи количества раствора; растворимость хлористыхъ соединеній въ водѣ, подкисленной соляной кислотой, меньше, чѣмъ въ чистой. Кромѣ того, фракціонировка становится очень производительною; разница между двумя порціями, полученными отъ одного и того-же продукта, значительна. При употребленіи воды съ большимъ количествомъ кислоты получается превосходное отдѣленіе, и можно ограничиться только тремя или четырьмя порціями. Вполнѣ выгодно употреблять этотъ пріемъ, какъ только количество вещества станетъ настолько мало, чтобы можно было работать безъ затрудненія.

Кристаллы, осаждающіеся въ очень кисломъ растворѣ, имѣютъ форму иголокъ, очень удлиненныхъ, они имѣютъ совершенно одинаковый видъ и для хлористаго соединенія

барія, и для хлористаго соединенія радія. И тѣ, и другіе обладаютъ двойнымъ лучепреломленіемъ. Кристаллы хлористаго соединенія барія, содержащаго радій, осаждаются безцвѣтными, но когда содержаніе радія сдѣлается достаточнымъ, они принимаютъ, спустя нѣсколько часовъ послѣ своего образованія, желтую окраску, переходящую въ оранжевую и иногда въ красивую розовую. Это окрашиваніе исчезаетъ при растворенiи. Кристаллы хлористаго соединенія чистаго радія не окрашиваются или, по крайней мѣрѣ, не такъ быстро, такъ что окраска появляется благодаря совмѣстному присутствію барія и радія. Максимумъ окрашиванія полученъ для нѣкоторой концентраціи радія и можно, основываясь на этомъ свойствѣ, провѣрять ходъ фракціонировки. Поскольку окрашивается болѣе активная порція, постольку она содержитъ значительное количество барія; когда она болѣе не окрашивается, а слѣдующія окрашиваются, это значитъ, что первая есть хлористое соединеніе вполнѣ чистаго радія.

Я замѣчала иногда образованіе осадка, составленнаго изъ кристалловъ, одна часть которыхъ остается безцвѣтною, тогда какъ другая окрашена. Казалось, возможно отдѣлить безцвѣтные кристаллы, отобравъ ихъ, что однако не было еще испробовано.

Къ концу фракціонировки отношеніе активности послѣдовательныхъ порцій не остается ни такимъ же одинаковымъ, ни такимъ же правильнымъ, какъ сначала; однако, не происходитъ никакого важнаго измѣненія въ ходѣ фракціонировки.

Дробное осажденіе воднаго раствора хлористаго барія, содержащаго радій, алкоголемъ также можетъ служить для отдѣленія хлористаго радія, который осаждается первымъ. Этотъ методъ, который я употребляла вначалѣ, послѣ былъ оставленъ и я предпочитала пользоваться методомъ, который только что изложенъ и который даетъ болѣе правильности. Однако, иногда я употребляла еще осажденіе алкоголемъ для того, чтобы очистить хлористый радій, который содержитъ небольшое количество хлористаго барія. Этотъ послѣдній остается въ алкогольномъ растворѣ, содержащемъ немного воды, и, такимъ образомъ, можетъ быть извлеченъ.

г. Гизель, который, со времени напечатанія нашихъ первыхъ изысканій, занимался приготовленіемъ радіоактивныхъ тѣлъ, рекомендуетъ отдѣленіе барія и радія методомъ дробной кристаллизаціи въ водѣ изъ смѣси ихъ бромистыхъ соединеній. Я могла констатировать, что такой способъ, дѣйствительно, очень хорошій, особенно въ началѣ фракціонировки.

Какой бы ни былъ употребленъ способъ фракціонировки, полезно контролировать полученный продуктъ, измѣряя все время его активность.

Необходимо замѣтить, что химическое соединеніе радія, который былъ растворенъ и который только что обращенъ въ твердое состояніе посредствомъ ли осажденія или кристаллизаціей, имѣетъ вначалѣ активность тѣмъ меньшую, чѣмъ долѣе онъ оставался въ растворѣ. Затѣмъ активность возрастаетъ въ продолженіе нѣсколькихъ мѣсяцевъ, достигая извѣстнаго предѣла, всегда одного и того же. Конечная активность въ 5 или 6 разъ болѣе начальной. Эти измѣненія, къ которымъ я возвращусь позднѣе, должны быть приняты во вниманіе при измѣреніяхъ активности. Хотя конечная активность представляетъ болѣе опредѣленную величину, но гораздо практичнѣе во время химической обработки измѣрять первоначальную активность только что полученнаго твердаго продукта.

Активность веществъ сильно радіоактивныхъ совсѣмъ другого порядка по величинѣ, чѣмъ активность рудъ, изъ которыхъ они получаются (она въ 10^6 разъ больше). При измѣреніи этой радіоактивности способомъ, изложеннымъ въ началѣ настоящей работы (приборъ фиг. 1), грузъ, который кладутъ на кварцовый дискъ, можно увеличивать только до извѣстнаго предѣла. Этотъ грузъ въ нашихъ опытахъ былъ maximum 4000 g., соотвѣтствуя количеству выдѣленнаго электричества, равному 25 электростатическимъ единицамъ.

Мы можемъ измѣрять активности, которыя измѣняются въ отношеніи 1 къ 4000, употребляя всегда одну и ту же поверхность дѣйствующаго вещества. Чтобы расширить предѣлы измѣреній, мы измѣняли эту поверхность въ извѣстномъ отношеніи. Активное вещество занимаетъ тогда на дискѣ В центральную часть въ видѣ кружка, даннаго радіуса, а такъ какъ въ этихъ условіяхъ активность не пропорціональна поверхности, то опытомъ опредѣляютъ коэффиціенты, которые позволяютъ сравнивать различныя

активности, наблюдаемыя при неравныхъ активныхъ поверхностяхъ.

Когда этотъ способъ измѣренія самъ уже становится недостаточнымъ, примѣняютъ поглощающіе экраны, а также другіе аналогичные способы, на которыхъ, однако, я не буду здѣсь останавливаться. Всѣ эти способы болѣе или менѣе несовершенны, но ими, однако, съ успѣхомъ можно пользоваться во время изслѣдованія. Мы измѣрили также токъ, который проходитъ чрезъ конденсаторъ, когда онъ поставленъ въ цѣпь батареи маленькихъ аккумуляторовъ и чувствительнаго гальванометра.

Необходимость часто повѣрять чувствительность гальванометра мѣшала намъ употребить этотъ способъ для непрерывнаго ряда измѣреній.

Опредѣленіе атомнаго вѣса радія. [1]) — Въ теченіе моей работы я нѣсколько разъ опредѣляла атомный вѣсъ металла, содержащагося въ образцахъ хлористаго барія, заключающаго радій. Каждый разъ, когда я послѣ новой обработки брала новое количество хлористаго барія, содержащаго радій, я старалась довести концентрацію возможно далеко, получая, такимъ образомъ, отъ 0,1 до 0,5 грм. вещества, которое заключало въ себѣ почти всю радіоактивность смѣси.

Изъ этого небольшого количества вещества я осаждала алкоголемъ или соляною кислотою нѣсколько миллиграммовъ хлористаго соединенія, которые предназначались для спектральнаго анализа.

Благодаря этому превосходному методу изслѣдованія, Демарсею достаточно было столь ничтожнаго количества вещества для полученія фотографіи спектра искры. Остававшееся количество вещества я употребляла для опредѣленія атомнаго вѣса.

Я пользовалась классическимъ методомъ, который состоитъ въ опредѣленіи при помощи хлористаго серебра количества хлора, содержащагося въ извѣстномъ вѣсѣ безводнаго хлористаго соединенія. Какъ опытъ для контроля, мнѣ служило опредѣленіе атомнаго вѣса барія по тому же са-

[1]) M-me Curie, Comptes rendus, 13 novembre 1899, août 1900 et 21 juillet 1902.

мому методу, при тѣхъ же самыхъ условіяхъ и съ тѣмъ же самымъ количествомъ веществъ, 0,5 грм. сначала и 0,1 грм. только въ концѣ. Полученныя числа заключаются между 137 и 138. Такимъ образомъ, этотъ методъ даже съ такимъ малымъ количествомъ вещества далъ удовлетворительные результаты.

Два первыя опредѣленія были сдѣланы съ хлористымъ соединеніемъ, изъ которыхъ первое было въ 230, а второе въ 600 разъ активнѣе урана. Эти два опыта дали при почти точныхъ измѣреніяхъ такое же число, которое было получено изъ опыта съ чистымъ хлористымъ баріемъ. Однако, можно было надѣяться замѣтить разницу, употребляя болѣе активный продуктъ. Слѣдующій опытъ былъ сдѣланъ съ хлористою солью радія, активность которой была приблизительно въ 3500 разъ болѣе урана. Этотъ опытъ позволилъ, въ первый разъ, замѣтить небольшую, но опредѣленную разницу. Я нашла для средняго значенія атомнаго вѣса металла, содержащагося въ этомъ хлористомъ соединеніи, число 140, которое указываетъ, что атомный вѣсъ радія долженъ быть больше, чѣмъ атомный вѣсъ барія. Употребляя вещества все болѣе и болѣе активныя и наблюдая спектръ радія съ возрастающею яркостью, я констатировала, что полученныя числа шли такъ же увеличиваясь, какъ это можно видѣть изъ нижеприведенной таблицы (A обозначаетъ активность хлористаго соединенія, при чемъ за единицу принята активность урана; M — найденный атомный вѣсъ).

A	M	
3500	140	Спектръ радія очень слабъ.
4700	141	
7500	145,8	Спектръ радія сильный, но сильно преобладаетъ спектръ барія.
Порядка величинъ	173,8	Оба спектра почти одинаковы.
10^6.	225	Барій присутствуетъ только въ видѣ слѣда.

Числа колонны A должны быть разсматриваемы только какъ простое указаніе.

Оцѣнка активности сильно радіоактивныхъ тѣлъ дѣйствительно трудна по различнымъ причинамъ, о которыхъ рѣчь будетъ дальше.

Благодаря описанной выше обработкѣ, я получила въ мартѣ 1902 года 0,12 grm. хлористаго соединенія радія, спектральный анализъ котораго любезно былъ сдѣланъ Демарсеемъ. Это хлористое соединеніе радія, по мнѣнію Демарсея, было весьма чисто, однако его спектръ имѣлъ еще три главныхъ линіи барія значительной интенсивности.

Я дѣлала съ этимъ хлористымъ соединеніемъ четыре послѣдовательныхъ опредѣленія и вотъ полученные мною результаты:

	Безводный хлористый радій.	Хлористое серебро.	M.
I.	0,1150	0,1130	220,7
II.	0,1148	0,1119	223,0
III.	0,11135	0,1086	222,8
IV.	0,10925	0,10645	223,1

Я тогда снова очистила это хлористое соединеніе и получила вещество еще значительно болѣе чистое, въ спектрѣ котораго обѣ болѣе сильныя линіи барія были уже очень слабы. Имѣя въ виду чувствительность спектральной реакціи барія, Демарсей полагаетъ, что это очищенное хлористое соединеніе содержитъ только „слабые слѣды барія, которые не могутъ повліять ощутительнымъ образомъ на опредѣленіе атомнаго вѣса“. Я дѣлала три опредѣленія съ этимъ хлористымъ соединеніемъ радія—совершенно чистымъ. Вотъ результаты:

	Безводный хлористый радій.	Хлористое серебро.	M.
I.	0,09192	0,08890	225,3
II.	0,08936	0,08627	225,8
III.	0,08839	0,08589	224,0

Эти числа даютъ въ среднемъ 225. Они вычислены такъ же, какъ и предыдущія, при разсматриваніи радія какъ двухъ-эквивалентнаго элемента, формула хлористаго соединенія котораго будетъ $RaCl_2$ и принимая для серебра и хлора числа $Ag = 107{,}8$; $Cl = 35{,}4$.

Изъ этихъ опытовъ слѣдуетъ, что атомный вѣсъ радія $Ra = 225$. Я разсматриваю это число съ точностью до 1.

Взвѣшиванія были сдѣланы при помощи аперіодическихъ вѣсовъ Кюри, вполнѣ урегулированныхъ и точныхъ до $^1/_{20}$ доли миллиграмма. Эти вѣсы при непосредственномъ отсчитываніи позволяютъ дѣлать взвѣшиванія очень быстрыя, что и является необходимымъ условіемъ при взвѣшиваніи безводныхъ хлористыхъ соединеній радія и барія, которыя поглощаютъ медленно воду, несмотря на присутствіе въ вѣсахъ гигроскопическихъ тѣлъ. Взвѣшиваемыя вещества были помѣщены въ платиновый тигель. Этотъ тигель былъ въ употребленіи уже долгое время и я нашла, что его вѣсъ въ теченіе одного опыта не измѣнялся на $^1/_{10}$ долю миллиграмма.

Полученное кристаллизаціей водное хлористое соединеніе было положено въ тигель и нагрѣто въ банѣ для превращенія его въ безводное хлористое соединеніе. Опытъ показываетъ, что когда хлористое соединеніе было нѣсколько часовъ при температурѣ 100^0, его вѣсъ болѣе не измѣнялся и это было даже тогда, когда увеличивали температуру до 200^0 и когда поддерживали ее такою въ продолженіе нѣсколькихъ часовъ. Такимъ образомъ, полученное безводное хлористое соединеніе представляетъ изъ себя тѣло совершенно опредѣленное.

Вотъ рядъ измѣреній, относящихся къ этому вопросу: хлористое соединеніе (1 dg) высушено въ банѣ при 55^0 и положено въ эксикаторъ съ фосфорнымъ ангидридомъ; въ этомъ случаѣ оно теряетъ въ вѣсѣ очень медленно, что и доказываетъ, что оно еще содержитъ воду; въ продолженіе 12 час. потеря была въ 3 mg. Хлористое соединеніе переносятъ снова въ баню и повышаютъ температуру до 100^0. Во время этого процесса хлористое соединеніе теряетъ 6,3 mg. Оставленное въ банѣ въ продолженіе 3 ч. 15 мин., оно потеряло еще 2,5 mg. Поддерживаютъ температуру въ продолженіе 45 минутъ между 100^0 и 120^0—что влечетъ за собою новую потерю въ вѣсѣ до 0,1 mg. Оставленное еще въ продолженіе 30 мин. при температурѣ 125^0, хлористое соединеніе въ вѣсѣ уже не уменьшается. Удержанное потомъ въ продолженіе 30 мин. при температурѣ 150^0, оно теряетъ 0,1 mg. Наконецъ, нагрѣтое въ продолженіе 4 час. до 200^0, оно испытываетъ потерю до 0,15 mg. Въ продолженіе всѣхъ этихъ процессовъ вѣсъ тигля измѣнился на 0,05 mg.

Послѣ каждаго опредѣленія атомнаго вѣса, радій былъ вновь приведенъ въ состояніе хлористаго соединенія слѣдующимъ образомъ. Въ жидкость, содержащую послѣ опредѣленія хлора азотнокислый радій и избытокъ азотнокислаго серебра, прибавляютъ въ избыткѣ чистую соляную кислоту, хлористое серебро отдѣляютъ фильтрованіемъ и жидкость досуха нѣсколько разъ выпаривается съ избыткомъ чистой соляной кислоты. Опытъ показываетъ, что такимъ образомъ можно совершенно удалять азотную кислоту.

Порція хлористаго серебра, полученная при опредѣленіи хлора, была всегда радіоактивна и свѣтящаяся. Я убѣдилась, что хлористое серебро не увлекло съ собою вѣсомаго количества радія, при опредѣленіи количества серебра, которое оно содержало. Для этого расплавленное хлористое соединеніе серебра, содержавшееся въ тиглѣ, было возстановлено водородомъ, выдѣлявшимся отъ дѣйствія цинка на слабую соляную кислоту; послѣ промыванія тигель былъ взвѣшенъ съ металлическимъ серебромъ, которое тамъ заключалось.

Равнымъ образомъ, я констатировала въ одномъ изъ опытовъ, что вѣсъ вновь полученнаго хлористаго соединенія радія оказался тѣмъ самымъ, какой былъ и передъ опредѣленіемъ хлора. При другихъ опытахъ я не ждала, пока всѣ промывныя воды были испарены, чтобы начать новый процессъ.

Эти повѣрки не имѣютъ той точности, какъ прямыя опредѣленія, однако, онѣ позволили убѣдиться, что никакой значительной ошибки не было сдѣлано.

По своимъ химическимъ свойствамъ, радій есть элементъ группы щелочно-земельныхъ металловъ. Въ этой группѣ онъ является высшимъ гомологомъ барія.

По своему атомному вѣсу, радій можетъ быть также помѣщенъ въ таблицу Менделѣева, вслѣдъ за баріемъ, въ группѣ щелочно-земельныхъ металловъ и въ рядѣ, который заключаетъ уже уранъ и торій.

Свойства солей радія. Соли радія: хлористая, азотная, углекислая, сѣрно-кислая—имѣютъ тотъ-же видъ, какъ тѣ же самыя соли барія, когда онѣ только что приготовлены въ твердомъ видѣ, но всѣ соли радія со временемъ окрашиваются.

Всѣ соли радія въ темнотѣ свѣтятся.

По своимъ химическимъ свойствамъ, соли радія совершенно аналогичны соотвѣтственнымъ солямъ барія. Однако, хлористый радій менѣе растворимъ, чѣмъ хлористый барій; растворимость азотныхъ соединеній въ водѣ, кажется, совершенно одинаковая.

Соли радія являются мѣстомъ самопроизвольнаго и непрерывнаго выдѣленія тепла.

Чистый хлористый радій парамагнитенъ. Его магнитная воспріимчивость K была измѣрена гг. Кюри и Шенево съ помощью прибора, устроеннаго этими двумя физиками [1]). Величина K находится посредствомъ сравненія съ магнитной воспріимчивостью воды:

$$K = 1{,}05 \times 10^{-6}$$

Чистый хлористый барій діамагнитенъ; его магнитная проницаемость

$$K = -0{,}40 \times 10^{-6}.$$

При томъ находятъ, сообразно предыдущимъ результатамъ, что хлористый радіоносный барій, содержащій приблизительно 17% хлористаго радія, діамагнитенъ и имѣетъ проницаемость

$$K = -0{,}20 \times 10^{-6}$$ [2]).

Фракціонировка хлористаго соединенія обыкновеннаго барія. Мы старались удостовѣриться—не содержитъ-ли продажный хлористый барій небольшихъ количествъ хлористаго радія, неподдающихся измѣренію нашихъ приборовъ. Для этого мы предприняли фракціонировку большого количества продажнаго хлористаго соединенія барія, надѣясь сконцентрировать этимъ способомъ слѣды хлористаго радія, если бы они тамъ находились.

50 kg. продажнаго хлористаго барія были растворены въ водѣ; растворъ былъ осажденъ соляной кислотой, свободной отъ сѣрной кислоты, что и доставило 20 kg. осажденнаго хлористаго соединенія. Послѣднее было растворено въ водѣ

[1]) Société de Physique, 3 avril 1903.

[2]) Въ 1889 году с. т. Мейеръ опубликовалъ, что радіоносный углекислый барій былъ парамагнитенъ (Wied. An. n., t. LXVIII). Однако, Мейеръ работалъ съ веществомъ, содержащимъ очень мало радія, вѣроятно, не болѣе $^1/_{1000}$. Такой продуктъ долженъ былъ бы оказаться діамагнитнымъ. Вѣроятно, онъ содержалъ примѣсь желѣза.

и осаждено по частямъ соляной кислотой, что, въ свою очередь, дало 8,5 kg. осажденнаго хлористаго соединенія. Это хлористое соединеніе было подвергнуто методу дробной кристаллизаціи, употребленному для хлористаго соединенія радіоноснаго барія, и, такимъ образомъ, было выдѣлено 10 gr. хлористаго соединенія, соотвѣтствующаго порціи наименѣе растворимой. Это хлористое соединеніе не обнаружило никакой радіоактивности въ нашемъ приборѣ для измѣреній; итакъ, оно совершенно не заключало радія; это тѣло, слѣдовательно, отсутствуетъ въ тѣхъ рудахъ, изъ которыхъ добывается барій.

Глава III.

Лучеиспусканіе новыхъ радіоактивныхъ веществъ.

Способы изученія лучеиспусканія. Чтобы изучить лучеиспусканіе, производимое радіоактивными веществами, можно воспользоваться однимъ какимъ либо свойствомъ этого лучеиспусканія. Можно воспользоваться или дѣйствіемъ лучей на фотографическія пластинки, или ихъ свойствомъ іонизировать воздухъ и дѣлать его электропроводнымъ, или еще ихъ способностью возбуждать флуоресценцію нѣкоторыхъ веществъ. Въ дальнѣйшемъ изложеніи объ этихъ различныхъ способахъ изслѣдованія мы примемъ для краткости слѣдующія обозначенія: методъ радіографическій, электрическій и флуороскопическій.

Два первые были употреблены вначалѣ для изученія урановыхъ лучей; методъ флуороскопическій можетъ быть примѣненъ только къ новымъ веществамъ, сильно радіоактивнымъ, такъ какъ вещества слабо радіоактивныя — такія, какъ уранъ и торій — не производятъ замѣтной флуоресценціи. Электрическій методъ есть единственный, который допускаетъ точныя измѣренія интенсивности: два другіе не даютъ количественныхъ результатовъ и могутъ служить лишь для сравненія интенсивности лучеиспусканія. Результаты, полученные тремя указанными методами, могутъ быть только грубо сравнимы между собою и могутъ даже совершенно расходиться. Свѣточувствительная пластинка, газъ которой іонизируютъ, флуоресцирующій экранъ—суть пріемники, которыми поглощается энергія лучеиспусканія и преобразуется въ другой родъ энергіи: энергію химическую, энергію іоновъ, или энергію свѣтовую. Каждый пріемникъ поглощаетъ часть лучеиспусканія, которая существенно зависитъ отъ природы этого пріемника; при томъ далѣе увидимъ, что лучеиспусканіе сложно и поглощаемыя различными пріемниками части этого лучеиспусканія могутъ отличаться между собою количественно и качественно. Наконецъ, ни очевидно, ни даже вѣроятно, что поглощаемая энергія полностью была бы преобразована пріемникомъ въ ту форму, которую мы желаемъ наблюдать; часть этой энергіи можетъ быть превращена въ тепло, часть идетъ на образованіе вторичныхъ лучей, которые, смотря по обстоятельствамъ, будутъ или не будутъ служить для возбужденія наблюдаемаго явленія, и часть расходуется на химическія дѣйствія, отличныя отъ тѣхъ, которыя наблюдаютъ и т. д., и здѣсь еще полезное дѣйствіе пріемника для той цѣли, которую мы ставимъ, существенно зависитъ отъ его природы.

Сравнимъ два радіоактивныхъ образца, изъ которыхъ одинъ заключаетъ радій, а другой—полоній и которые дѣйствуютъ одинаково въ приборѣ съ дисками, изображенными на фигурѣ 1. Если каждое изъ нихъ покрыть тонкимъ листомъ алюминія, то полоній покажется значительно менѣе активнымъ, чѣмъ радій; такое же отношеніе получимъ, если ихъ будемъ сравнивать помощью флуоресцирующаго экрана, когда этотъ послѣдній достаточно толстъ или когда онъ поставленъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ обоихъ радіоактивныхъ веществъ.

Энергія лучеиспусканія. — Какой бы ни былъ употребленъ методъ изслѣдованій, всегда находятъ, что энергія лучеиспусканія новыхъ радіоактивныхъ веществъ значительно больше, чѣмъ таковая урана и торія. Такимъ образомъ, съ радіемъ, напримѣръ, на маломъ разстояніи на фотографической пластинкѣ отпечатокъ получается, такъ сказать, мгновенно, тогда какъ для урана и торія необходимо дѣйствіе на ту же пластинку въ продолженіе 24 часовъ.

Флуоресцирующій экранъ ярко начинаетъ свѣтиться при поднесеніи къ нему новыхъ радіоактивныхъ веществъ, тогда какъ съ ураномъ и торіемъ не замѣчается никакого слѣда свѣченія. Наконецъ, воздухъ іонизируется также значительно сильнѣе, приблизительно въ милліонъ разъ. Но правильнѣе

сказать, что электрическимъ методомъ, описаннымъ выше (фиг. 1), можно опредѣлить полное лучеиспусканіе только для урана. Дѣйствительно, въ случаѣ урана лучеиспусканіе почти цѣликомъ поглощается слоемъ воздуха, который отдѣляетъ диски, и предѣльный токъ уже получается при напряженіи въ 100 вольтъ. Ничего подобнаго не наблюдается при употребленіи сильно радіоактивныхъ веществъ. Часть лучеиспусканія радія состоитъ изъ лучей, сильно проникающихъ, которые пронизываютъ конденсаторъ, и эти лучи совершенно не участвуютъ въ іонизаціи воздуха между дисками. Сверхъ того, предѣльный токъ не можетъ быть полученъ при тѣхъ напряженіяхъ, которыми мы располагаемъ: такъ, для очень активнаго полонія токъ еще пропорціоналенъ напряженію между 100 и 500 вольтъ. Условія опыта, при которыхъ получается простое значеніе мѣры тока, еще не осуществлены и, слѣдовательно, полученныя числа не могутъ быть разсматриваемы, какъ числа, дающія мѣру всего лучеиспусканія. Съ этой точки зрѣнія, они представляютъ только грубое приближеніе.

Сложная природа лучеиспусканія. — Работы различныхъ физиковъ (Беккерель, Мейеръ и Швейдлеръ, Гизель, Виллартъ, Рузерфордъ, г.г. Кюри) показали, что лучеиспусканіе радіоактивныхъ веществъ есть лучеиспусканіе очень сложное. Нужно различать три рода лучей, которые я буду называть, слѣдуя принятому Рузерфордомъ обозначенію, начальными буквами α, β и γ.

1) Лучи α суть мало проникающіе лучи и составляютъ, кажется, самую большую часть лучеиспусканія. Эти лучи характеризуются законами, которымъ они слѣдуютъ при поглощеніи ихъ веществомъ. Магнитное поле дѣйствуетъ на эти лучи очень слабо и вначалѣ ихъ разсматривали какъ лучи, на которые это поле совсѣмъ не дѣйствуетъ. Однако, въ сильномъ магнитномъ полѣ лучи α слегка отклоняются. Это отклоненіе происходитъ такимъ же образомъ, какъ это наблюдается въ случаѣ катодныхъ лучей, но направленіе этого отклоненія обратное. Оно одинаково съ отклоненіемъ, такъ называемыхъ, закатодныхъ лучей въ трубкахъ Крукса (Rayons canaux).

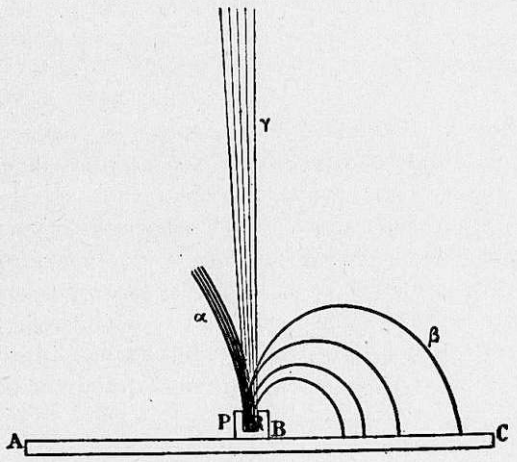
2) Лучи β — суть лучи менѣе поглощаемые въ ихъ совокупности, чѣмъ предыдущіе. Они отклоняются магнитнымъ полемъ и при этомъ въ томъ же направленіи, какъ лучи катодные.

3) Лучи γ — суть лучи проникающіе, но на нихъ магнитное поле не дѣйствуетъ и ихъ можно сравнить съ лучами Рентгена.

Лучи каждой группы могутъ имѣть силу проникновенія, которая измѣняется въ очень широкихъ предѣлахъ, какъ это было доказано для лучей β.

Представимъ себѣ слѣдующій опытъ. Радій R положенъ на дно маленькой глубокой полости, сдѣланной въ

Фиг. 4.



кускѣ свинца P (фиг. 4). Пучекъ прямолинейныхъ и малорасходящихся лучей исходитъ изъ этого углубленія. Положимъ, что въ пространствѣ, которое окружаетъ углубленіе съ радіемъ, образовано однородное, весьма сильное магнитное поле, нормальное къ плоскости нашего чертежа и направленное въ сторону отъ насъ за плоскость. Три группы лучей—α, β, γ—окажутся раздѣленными. Лучи γ, мало интенсивные, продолжаютъ свой прямолинейный путь совершенно безъ уклоненія. Лучи β отклоняются на подобіе лучей катодныхъ и описываютъ въ плоскости фигуры криволинейную траекторію, радіусъ кривизны которой измѣняется въ широкихъ предѣлахъ. Если кусокъ свинца P положить на фото-

графическую пластинку AC, то часть ея BC, на которую падаютъ лучи β, подвергнется ихъ дѣйствію. Наконецъ, лучи α составляютъ пучекъ очень интенсивный, который слегка отклоняется и который довольно быстро поглощается воздухомъ. Эти лучи описываютъ въ плоскости фигуры траэкторію малой кривизны и отклоненіе направлено въ сторону, противоположную лучамъ β.

Если кусокъ свинца съ радіемъ покрыть тонкимъ алюминіевымъ экраномъ (0,1m толщ.), лучи α въ очень большой своей части уничтожаются, лучи β — гораздо менѣе, а лучи γ кажутся поглощенными незначительно.

Опытъ, который я описала, въ такомъ видѣ осуществленъ не былъ, и въ дальнѣйшемъ мы увидимъ опыты, которые покажутъ намъ дѣйствіе магнитнаго поля на различныя группы лучей.

Дѣйствіе магнитнаго поля. — Мы видѣли, что лучи, испускаемые радіоактивными веществами, имѣютъ много общаго и съ катодными, и съ Рентгеновскими лучами. Какъ катодные лучи, такъ и лучи Рентгена также хорошо іонизируютъ воздухъ, дѣйствуютъ на фотографическую пластинку, вызываютъ явленіе флуоресценціи и не подчиняются закону правильнаго отраженія. Но катодные лучи отличаются отъ лучей Рентгена тѣмъ, что они отклоняются отъ своего прямолинейнаго пути при дѣйствіи на нихъ магнитнаго поля и несутъ съ собою зарядъ отрицательнаго электричества.

Фактъ, что магнитное поле оказываетъ свое дѣйствіе на лучи, испускаемые радіоактивными веществами, былъ почти одновременно открытъ Гизелемъ, Мейеромъ, Швейдлеромъ и Беккерелемъ [1]). Эти физики наблюдали, что лучи радіоактивныхъ веществъ отклоняются при дѣйствіи на нихъ магнитнаго поля такимъ же образомъ и въ томъ же самомъ направленіи, какъ и лучи катодные. Ихъ наблюденія относятся къ лучамъ β.

Г-нъ Кюри показалъ, что лученіспусканіе радія состоитъ изъ двухъ, очень рѣзко отличныхъ другъ отъ друга, группъ

[1]) Giesel, Wied. Ann., 2 novembre 1899. — Meyer et von Schweidler, Acad. Anzeiger, Wien, 3 et 9 novembre 1899. — Becquerel, Comptes rendus, 11 décembre 1899.

лучей такимъ образомъ, что одна изъ нихъ легко отклоняется магнитнымъ полемъ (лучи β), на другую же часть магнитное поле дѣйствія не оказываетъ (лучи α и γ, такимъ образомъ, были обозначены подъ общимъ именемъ неотклоняемыхъ лучей) [1]).

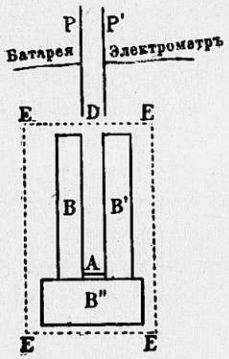
Беккерель не наблюдалъ въ лученіспусканіи, производимомъ образцами полонія, приготовленными нами, лучей типа катодныхъ. Напротивъ, Гизель, работая съ образцами, приготовленными имъ, въ первый разъ наблюдалъ дѣйствіе магнитнаго поля на лучи полонія. Изъ всѣхъ же образцовъ полонія, приготовленныхъ нами, ни одинъ никогда не давалъ лучей, похожихъ на катодные.

Полоній Гизеля испускаетъ лучи, подобные катоднымъ, только свѣже-приготовленный и, вѣроятно, это испусканіе происходитъ благодаря индуктированной радіоактивности, о которой рѣчь будетъ впереди.

Вотъ опыты, которые доказываютъ, что часть лученіспусканія радія — и только одна часть — составлена изъ лучей, легко отклоняемыхъ (лучи β). Эти опыты были сдѣланы электрическимъ методомъ [2]).

Радіоактивное тѣло A (фиг. 5) посылаетъ лучи по направленію AD между пластинками P и P_1. Дискъ P удержи-

Фиг. 5.



вается при потенціалѣ въ 500 вольтъ, дискъ P_1 соединенъ

[1]) M. Curie. Comptes rendus, 8 janvier 1900.
[2]) M. Curie. Comptes rendus, 8 janvier 1900.

съ электрометромъ и пьезо-электрическимъ кварцемъ. Измѣряютъ силу тока, который проходитъ въ воздухѣ подъ вліяніемъ радіоактивности. Можно, по желанію, во всемъ пространствѣ EEEE расположить магнитное поле электромагнита нормально къ плоскости чертежа. Если лучи отклоняются даже слабо, они уже не проходятъ между дисками, когда магнитное поле образовано, и токъ, такимъ образомъ, при этомъ прекращается. Пространство, въ которомъ проходятъ лучи, было окружено массою свинца B, B′, B″ и полюсными наконечниками электромагнита. При отклоненіи, лучи поглощаются массою свинца B и B′.

Полученные результаты зависятъ исключительно отъ разстоянія AD радіоактивнаго тѣла A до входа въ конденсаторъ въ D. Если разстояніе AD довольно большое (болѣе 7 cm.), то бо́льшая часть (приблизительно 90%) лучей радія, которые достигаютъ конденсатора, отклоняется и дѣйствіе ихъ совершенно прекращается при напряженности поля въ 2500 единицъ. Это суть лучи β. Если разстояніе AD менѣе 65 mm., то меньшая часть лучей будетъ отклоняться дѣйствіемъ поля.

Эта часть, однако, совершенно отклонена при напряженности поля въ 2500 единицъ, и при увеличеніи поля до 7000 единицъ % отклоненныхъ лучей уже не увеличивается.

Количество лучей, не уничтоженныхъ полемъ, дѣлается тѣмъ больше, чѣмъ разстояніе AD между конденсаторомъ и радіоактивнымъ тѣломъ будетъ меньше. Для очень малыхъ разстояній AD лучи, которые могутъ легко отклоняться, составляютъ только небольшую часть всего лучеиспусканія.

Итакъ, лучи, проникающіе въ большей части, суть лучи, отклоняемые магнитнымъ полемъ, типа катодныхъ (лучи β).

Въ тѣхъ условіяхъ опыта, которыя мы только-что описали, дѣйствіе магнитнаго поля на лучи α, при употреблявшихся величинахъ этого поля, не могло быть наблюдаемо. Очень значительное, повидимому, неотклоняемое лучеиспусканіе, которое наблюдаютъ при небольшомъ разстояніи отъ источника, состоитъ изъ лучей α. Лучеиспусканіе неотклоняемое и наблюдаемое на большомъ разстояніи состоитъ изъ лучей γ.

Когда пучекъ лучей пропускаютъ черезъ поглощающую пластинку (аллюминій или черная бумага), лучи, которые

проходятъ черезъ нее, всѣ почти отклоняются полемъ. Такимъ образомъ, при помощи экрана и магнитнаго поля почти все лучеиспусканіе отводится отъ конденсатора; его достигаютъ только лучи γ, содержаніе которыхъ въ полномъ лучеиспусканіи очень незначительно.

Аллюминіевая пластинка, толщиною въ 0,01 mm., вполнѣ достаточна для уничтоженія почти всѣхъ лучей, трудно отклоняемыхъ, когда радіоактивное вещество довольно далеко отъ конденсатора. При малыхъ разстояніяхъ (34 — 51 mm.), для полученія того же результата, необходимо два такихъ же листа.

Подобныя измѣренія были сдѣланы для четырехъ радіоактивныхъ веществъ (хлористое и углекислое соединеніе), активность которыхъ была очень различна. Полученные результаты очень аналогичны.

Можно отмѣтить для всѣхъ образцовъ, что легко проникающіе лучи, отклоняемые магнитомъ (лучи β), составляютъ только небольшую часть всего лучеиспусканія. Они входятъ только въ малой долѣ въ такихъ измѣреніяхъ, въ которыхъ пользуются полнымъ лучеиспусканіемъ для возбужденія электропроводности воздуха.

Лучеиспусканіе полонія можно изучать электрическимъ методомъ. Когда измѣняютъ разстояніе AD отъ полонія до конденсатора, сначала не замѣчаютъ никакого тока, пока разстояніе довольно велико; когда же приближаютъ полоній, то наблюдаютъ, что при нѣкоторомъ разстояніи, которое для изученныхъ образцовъ равнялось 4 cm., дѣйствіе лучеиспусканія наступало чрезвычайно быстро съ довольно значительной силой; токъ затѣмъ правильно возрастаетъ, если продолжать приближать полоній, но магнитное поле въ этихъ условіяхъ не производитъ ощутительныхъ дѣйствій. Кажется, что лучеиспусканіе полонія какъ бы имѣетъ опредѣленныя границы въ пространствѣ и только немного выдается въ воздухъ въ видѣ нѣкоторой оболочки, толщиною въ нѣсколько сантиметровъ, окружающей радіоактивное вещество.

По поводу только что описанныхъ опытовъ слѣдуетъ сдѣлать нѣкоторыя важныя оговорки. Когда я говорю объ относительномъ содержаніи лучей, отклоняемыхъ магнитнымъ полемъ, то подразумѣвается только часть лучеиспусканія, способная возбуждать токъ въ конденсаторѣ; употребляя же,

какъ реактивъ на лучи Беккереля, флуоресцирующее дѣйствіе на фотографическую пластинку, вѣроятно, можно получить другую пропорцію въ лученспусканіи, поэтому мѣра напряженности лученспусканія, вообще, относится только къ данному употребляемому методу измѣренія. Лучи полонія суть лучи рода α. Въ опытахъ, которые я только-что описала, я не наблюдала никакого дѣйствія магнитнаго поля на эти лучи, однако, слѣдуетъ замѣтить, что условія опыта были таковы, что слабое отклоненіе могло пройти незамѣченнымъ.

Опыты, сдѣланные по радіографическому методу, подтвердили результаты, которые были получены раньше. Употребляя радій, какъ источникъ лученспусканія, получаютъ изображеніе на фотографической пластинкѣ, поставленной параллельно первоначальному пучку и перпендикулярно къ магнитному полю.

Въ этомъ случаѣ получается очень ясно слѣдъ двухъ пучковъ, раздѣленныхъ дѣйствіемъ поля: одинъ отклоненный, другой—неотклоненный. Лучи β составляютъ пучекъ отклоненный, лучи α, будучи очень мало отклоняемы, почти совпадаютъ съ пучкомъ неотклоняемыхъ лучей γ.

Отклоняемые лучи β.—Изъ опытовъ Гизеля, Мейера и Швейдлера, слѣдуетъ, что лучи радіоактивныхъ тѣлъ, по крайней мѣрѣ ихъ часть, отклоняются магнитнымъ полемъ на подобіе катодныхъ лучей. Беккерель изучалъ дѣйствіе поля на лучи по радіографическому методу [1]). Расположеніе опыта представлено на фиг. 4. Радій былъ положенъ въ свинцовую коробку Р, которая была поставлена на свѣточувствительный слой фотографической пластинки АС, завернутой въ черную бумагу. Все было помѣщено между полюсами электромагнита, магнитное поле котораго было перпендикулярно къ плоскости чертежа.

Если поле направлено отъ насъ за плоскость чертежа, часть пластинки ВС подвергается дѣйствію лучей, которые, описавъ криволинейный путь, спускаются на пластинку и пересѣкаютъ ее подъ прямымъ угломъ. Это суть лучи β.

Беккерель показалъ, что изображеніе на пластинкѣ состоитъ изъ широкой размытой полосы — настоящій непрерывный спектръ, показывающій, что пучокъ отклоняемыхъ

[1]) Becquerel, Comptes rendus t. CXXX, p. 206, 372, 810.

лучей, испускаемыхъ источникомъ, состоитъ изъ множества различно отклоняемыхъ радіацій. Если покрыть желатиновый слой пластинки различными поглощающими экранами (бумага, стекло, металлъ), часть спектра пропадаетъ и найдено, что лучи, которые болѣе отклоняются магнитнымъ полемъ, иначе говоря, тѣ, траэкторія которыхъ имѣетъ меньшій радіусъ кривизны, — оказываются наиболѣе поглощаемыми. Для каждаго экрана дѣйствіе на пластинку начинается только на нѣкоторомъ опредѣленномъ разстояніи ея отъ источника лученспусканія и это разстояніе тѣмъ болѣе, чѣмъ сильнѣе поглощаетъ экранъ.

Зарядъ отклоняемыхъ лучей. — Катодные лучи, какъ показалъ это Перренъ, заряжены отрицательнымъ электричествомъ [1]). Кромѣ того, они могутъ, по опытамъ Перрена и Ленарда [2]), переносить свой зарядъ сквозь металлическія оболочки, соединенныя съ землей, и чрезъ изолированныя пластинки. Во всѣхъ точкахъ, гдѣ поглощаются катодные лучи, происходитъ непрерывное выдѣленіе отрицательнаго электричества. Мы нашли, что то же самое справедливо и для отклоняемыхъ лучей β радія. *Отклоняемые лучи β радія несутъ отрицательный зарядъ.* [3])

Положимъ радіоактивное вещество на одинъ изъ дисковъ конденсатора—этотъ дискъ соединенъ металлически съ землей; второй дискъ соединенъ съ электрометромъ, который получаетъ и поглощаетъ лучи, испускаемые веществомъ. Если лучи заряжены, должно было бы наблюдать постоянный притокъ электричества въ электрометръ. Этотъ опытъ, сдѣланный въ воздухѣ, не позволилъ намъ обнаружить зарядъ лучей, но опытъ, поставленный такимъ образомъ, не чувствителенъ. Такъ какъ воздухъ между дисками дѣлается благодаря лучамъ электропроводнымъ, электрометръ болѣе уже не достаточно изолированъ и можетъ обнаруживать только довольно сильные заряды.

Для того, чтобы лучи α не могли помѣшать въ опытѣ, можно ихъ уничтожить, покрывая радіоактивный источникъ тонкимъ экраномъ. Результаты опытовъ не измѣняются [4]).

Мы безъ успѣха повторили этотъ опытъ въ воздухѣ, заставляя

[1]) Comptes rendus, t. CXXI, p. 1130. Annales de Chemie et de Physique, t. II, 1897.

[2]) Lenard, Wied. Ann. t. LXIV, p. 279.

[3]) M. et M-me Curie, Comptes rendus, 5 mars 1900.

[4]) Вѣрнѣе говоря, въ этихъ опытахъ всегда наблюдаютъ откло-

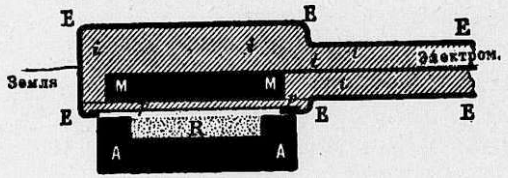
лучи проникать внутрь Фарадеевскаго цилиндра, соединеннаго съ электрометромъ [1]).

Изъ предыдущихъ опытовъ можно вывести, что зарядъ лучей употребляемаго радіоактивнаго вещества былъ слабъ.

Для того, чтобы замѣтить накопленіе электрическаго заряда на проводникѣ, который поглощаетъ лучи, необходимо этотъ проводникъ хорошо электрически изолировать. Для достиженія этого результата, необходимо его защитить отъ вліянія воздуха, или помѣстивъ его въ трубку съ очень большимъ разрѣженіемъ воздуха, или окружая его хорошимъ, твердымъ діэлектрикомъ. Эту послѣднюю комбинацію мы и употребили.

Проводящій дискъ M. M. соединенъ металлическимъ

Фиг. 6.



стержнемъ t съ электрометромъ (фиг. 6); дискъ и стержень совершенно окружены изолирующимъ веществомъ iiii; все покрыто металлической оболочкой EEEE, которая электри-

---

неніе электрометра, но легко себѣ объяснить, что это отклоненіе происходитъ вслѣдствіе электродвижущей силы контакта, который существуетъ между дискомъ, соединеннымъ съ электрометромъ и сосѣдними проводниками; эта электродвижущая сила заставляетъ отклоняться электрометръ, благодаря электропроводности воздуха, находящагося подъ вліяніемъ лучей радія *).

[1]) Употребленіе цилиндра Фарадея не обязательно, но онъ могъ бы дать нѣкоторыя преимущества въ томъ случаѣ, если бы происходило сильное разсѣяніе лучей при ударахъ ихъ въ стѣнку. Можно бы было, такимъ образомъ, надѣяться собрать и воспользоваться этими разсѣянными лучами, если бы они были.

*) Какъ это имѣетъ мѣсто, напримѣръ, въ опытѣ проф. А. Г. Столѣтова съ ультрафіолетовыми лучами.

Примѣч. переводчика.

чески соединена съ землей. Толщина изолирующаго слоя *pp* и металлической оболочки съ одной стороны диска очень мала,—эта сторона диска и обращается къ лучамъ соли радіоноснаго барія R, который помѣщенъ снаружи въ свинцовой коробкѣ [1]). Лучи, испускаемые радіемъ, пронизываютъ металлическую оболочку и изолирующую пластинку *pp* и поглощаются металлическимъ дискомъ MM. И вотъ этотъ послѣдній дѣлается мѣстомъ непрерывнаго накопленія отрицательнаго электричества, которое можно обнаружить электрометромъ и измѣрить при помощи пьезо-электрическаго кварца.

Полученный такимъ образомъ токъ очень слабъ. Въ опытахъ съ радіоноснымъ хлористымъ баріемъ, очень активнымъ, образующимъ слой въ 2,5 cm. поверхностью и 0,2 cm. толщиною, получаютъ токъ порядка величины 10^{-11} ампера; при этомъ дѣйствующіе лучи, прежде поглощенія ихъ дискомъ MM, пронизываютъ аллюминій толщиною 0,01 mm. и эбонитъ толщиною 0,3 mm.

Мы употребляли послѣдовательно для диска MM свинецъ, мѣдь и цинкъ; для изолятора эбонитъ и парафинъ. Полученные результаты были одинаковые.

Токъ уменьшается, когда радіоактивный источникъ R удаляютъ или когда употребляютъ вещество менѣе активное.

Мы получили тѣ же самые результаты, замѣняя дискъ цилиндромъ Фарадея съ воздухомъ, но снаружи закрытымъ изолирующимъ веществомъ. Отверстіе цилиндра, закрытое тонкой изолирующей пластинкой pp, было тогда противъ радіоактивнаго источника.

Наконецъ, мы сдѣлали опытъ обратный, который состоялъ въ слѣдующемъ: свинцовая коробка съ радіемъ помѣщена посрединѣ изолирующаго вещества и соединена съ электрометромъ (фиг. 7); все это закрыто кругомъ металлической оболочкой, соединенной съ землей.

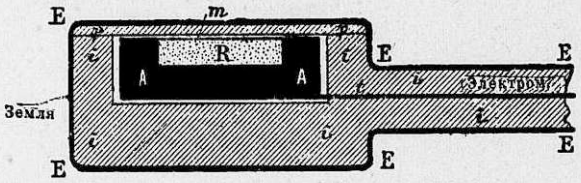
Въ этихъ условіяхъ наблюдаютъ на электрометрѣ, что

---

[1]) Изолирующая оболочка должна быть совершенно непрерывная; всякая трещина, наполненная воздухомъ, идущая отъ внутренняго проводника до оболочки, является причиною электрическаго тока, происходящаго отъ электродвижущей силы контакта, благодаря электропроводности воздуха подъ дѣйствіемъ радія.

радій получаетъ положительный зарядъ, по величинѣ рав-

Фиг. 7.



ный отрицательному заряду предыдущаго опыта.

Лучи радія, проникая тонкую діэлектрическую пластинку pp, покидаютъ внутренній проводникъ, унося съ собою нѣкоторое количество отрицательнаго электричества.

Лучи α радія въ этихъ опытахъ почти не принимаютъ участія, будучи уже совершенно поглощены весьма малою толщиною вещества. Методъ, который мы только что описали, также не подходитъ для изученія заряда лучей полонія, такъ какъ лучи полонія равнымъ образомъ весьма мало проникающи. При опытахъ съ полоніемъ, который испускаетъ только лучи α, мы не наблюдали никакого указанія относительно заряда, но, по причинѣ, на которую мы указали выше, изъ этого опыта нельзя, однако, сдѣлать никакого заключенія.

Итакъ, въ случаѣ лучей отклоняемыхъ β радія, такъ и въ случаѣ лучей катодныхъ, лучи переносятъ съ собою электрическій зарядъ. Однако же, до сихъ поръ совершенно не было извѣстно существованіе электрическаго заряда, не связаннаго съ матеріей.

Это заставляетъ насъ, при изученіи испусканія радіемъ отклоняемыхъ лучей β, пользоваться той же теоріей, какой придерживаются теперь при изученіи катодныхъ лучей. По этой балестической теоріи, которую впервые высказалъ Круксъ, потомъ расширилъ и дополнилъ Дж. Дж. Томсонъ, катодные лучи состоятъ изъ частичекъ, которыя чрезвычайно мелки (малы) и которыя выбрасываются отъ катода съ чрезвычайно большой скоростью и заряжены отрицательнымъ электричествомъ.

Такимъ образомъ, можно себѣ представить, что радій выбрасываетъ въ пространство частички, заряженныя отрицательно.

Образецъ радія, заключенный въ твердую тонкую оболочку, совершенно изолированную, долженъ самопроизвольно заряжаться до очень высокаго потенціала. По этой баллистической гипотезѣ, потенціалъ какъ бы долженъ расти (увеличиваться) до тѣхъ поръ, пока разница потенціала съ окружающими проводниками сдѣлается достаточной для того, чтобы помѣшать удаленію наэлектризованныхъ испускаемыхъ частицъ и привести ихъ обратно къ источнику радіаціи.

Мы случайно осуществили опытъ, о которомъ идетъ здѣсь рѣчь. Образецъ радія очень активный былъ долгое время закрытъ въ стеклянной ампулкѣ. Для того, чтобы открыть эту ампульку, мы ножемъ сдѣлали царапину на стеклѣ, въ этотъ моментъ мы ясно услышали трескъ искры и затѣмъ, наблюдая за ампулкой въ лупу, мы замѣтили, что стекло было пробито искрой на мѣстѣ царапины, гдѣ оно стало тоньше. Полученное здѣсь явленіе было совершенно похоже на явленіе съ Лейденской банкой, у которой пробито стекло при весьма сильномъ заряженіи.

То же самое явленіе получено съ другой ампулкой. Кромѣ того, въ моментъ, когда былъ слышенъ трескъ искры, г. Кюри, который держалъ ампульку, почувствовалъ въ пальцахъ руки сотрясеніе отъ электрическаго разряда.

Нѣкоторые сорта стеколъ имѣютъ хорошія изолирующія свойства. Если заключить радій въ стеклянную закрытую и хорошо изолированную ампульку, то можно ожидать, что эта ампулка когда нибудь сама собой разорвется.

Радій представляетъ изъ себя первый примѣръ тѣла, которое самопроизвольно заряжается.

Дѣйствіе электрическаго поля на отклоняемые лучи β радія. — Отклоняемые лучи β радія, будучи подобны катоднымъ лучамъ, должны быть отклоняемы электрическимъ полемъ въ такомъ же направленіи, какъ эти послѣдніе; другими словами, такъ, какъ это случилось бы для матеріальныхъ частичекъ, отрицательно заряженныхъ электричествомъ и пущенныхъ въ пространство съ большою скоростью. Существованіе этого отклоненія было показано съ одной стороны Дорномъ [1]), съ другой Беккерелемъ [2]).

[1]) Dorn, Abh. Halle, mars 1900.
[2]) Becquerel, Comptes rendus, t. CXXX, p. 819.

Разсмотримъ лучъ, который пронизываетъ пространство между двумя дисками конденсатора. Предположимъ, что направленіе луча параллельно пластинкамъ конденсатора.

Когда между этими дисками образовано электрическое поле, лучъ подвергается дѣйствію этого однороднаго поля на протяженіи всего своего пути l въ конденсаторѣ. Подъ вліяніемъ этого дѣйствія, лучъ отклоняется къ положительному диску и описываетъ дугу параболы.

Идя далѣе, внѣ вліянія электрическаго поля, лучъ продолжаетъ свою дорогу прямолинейно, по касательной, проведенной къ дугѣ параболы въ точкѣ выхода луча. Этотъ лучъ можно принять на фотографическую пластинку, поставленную нормально къ его первоначальному направленію.

Разсматривая отпечатокъ, полученный на пластинкѣ въ то время, когда напряженіе поля равнялось нулю и когда это поле имѣло нѣкоторое извѣстное напряженіе, выводятъ величину отклоненія δ, представляющаго собою разстояніе между точками, въ которыхъ новое направленіе луча и его первоначальное направленіе встрѣчаютъ нѣкоторую плоскость, нормальную къ первоначальному направленію. Если черезъ h назовемъ разстояніе этой плоскости до конденсатора, т. е. до границы поля, то для значенія δ имѣемъ слѣдующее выраженіе:

$$\delta = \frac{eFl\left(\frac{l}{2}+h\right)}{mv^2},$$

гдѣ m есть масса движущейся частицы, e—ея зарядъ, v—скорость ея, а F—значеніе поля.

Опыты позволили Беккерелю дать нѣкоторое приблизительное значеніе для δ.

Отношеніе заряда къ массѣ для частичекъ, заряженныхъ отрицательнымъ электричествомъ, испускаемыхъ радіемъ. — Если матеріальную частичку, имѣющую массу m и отрицательный зарядъ e, пустить со скоростью v въ однородное магнитное поле, напряженіе котораго H, то эта частичка опишетъ нѣкоторую кривую въ плоскости, перпендикулярной къ полю, пройдя со своею первоначальною скоростью дугу круга радіуса ρ, и мы имѣемъ слѣдующее отношеніе:

$$H\rho = \frac{m}{e}v.$$

Если измѣрить для одного и того же луча электрическое отклоненіе δ и радіусъ кривизны ρ въ магнитномъ полѣ, то изъ этихъ двухъ опытовъ можно вычислить отношеніе $\frac{e}{m}$ и скорость v.

Опыты Беккереля дали первое указаніе по этому предмету. По этимъ опытамъ, отношеніе $\frac{e}{m}$ приблизительно оказалось равнымъ 10^7 абсолютнымъ электромагнитнымъ единицамъ, а скорость $v = 1{,}6 \times 10^{10}$ см. Эти значенія являются величинами такого порядка, какія получены для катодныхъ лучей.

Точные опыты, относящіеся къ этому вопросу, были сдѣланы Кауфманомъ [1]). Этотъ физикъ подвергъ одновременно дѣйствію какъ электрическаго, такъ и магнитнаго поля очень тонкій пучекъ лучей радія; оба поля были однородны и имѣли одно и то же направленіе, перпендикулярное къ первоначальному направленію луча. Изображеніе луча, полученное на фотографической пластинкѣ, поставленной перпендикулярно къ первоначальному пучку и расположенной за границами поля, относительно источника радіаціи,—принимаетъ форму кривой, каждая точка которой соотвѣтствуетъ отдѣльному лучу первоначальнаго сложнаго пучка. Лучи, болѣе проникающіе и менѣе отклоняемые, имѣютъ также и большую при этомъ величину скорости.

Изъ опытовъ Кауфмана оказывается, что для лучей радія, которые имѣютъ скорость значительно бо́льшую, чѣмъ катодные лучи, отношеніе $\frac{e}{m}$ уменьшается, когда скорость увеличивается.

Изучая работы Дж. Дж. Томсона и Таунсенда [2]), можно допустить, что движущіяся частицы, изъ которыхъ состоитъ лучъ, каждая несетъ съ собою электрическій зарядъ e, который равенъ заряду, переносимому однимъ атомомъ водорода при электролизѣ, и этотъ зарядъ остается одинаковымъ для всѣхъ лучей. Слѣдовательно, можно вывести заключеніе,

[1]) Kaufmann, Nachrichten d. k. Gesell. d. Wiss. zu Gœttingen., 1901, Heft 2.

[2]) Thomson, Phil. Mag., t. XLVI, 1898. — Townsend, Phil. Trans., t. CXCV, 1901.

что масса частички m увеличивается, когда увеличивается скорость.

Итакъ, теоретическія разсужденія приводятъ насъ къ тому заключенію, что инерція частицы обязана своимъ существованіемъ именно ея движущемуся заряду; скорость движущагося электрическаго заряда нельзя измѣнить безъ затраты энергіи. Иначе говоря, инерція частички электромагнитнаго происхожденія, а масса частички, по крайней мѣрѣ отчасти, есть кажущаяся масса, или электромагнитная масса. Абрагамъ [1]) идетъ далѣе и предполагаетъ, что масса частички цѣликомъ есть масса электромагнитная. Если, согласно этой гипотезѣ, мы вычислимъ значеніе этой массы m для нѣкоторой извѣстной скорости v, то найдемъ, что m стремится къ безконечности, когда v стремится къ скорости свѣта, и что m стремится къ постоянному значенію, когда v значительно ниже скорости свѣта. Опыты Кауфмана согласуются съ результатами этой теоріи, которая имѣетъ огромное значеніе, такъ какъ она позволяетъ предвидѣть возможность установленія началъ механики на динамикѣ маленькихъ движущихся матеріальныхъ заряженныхъ центровъ. [2])

Вотъ числа, полученныя Кауфманомъ для $\frac{e}{m}$ и для v:

$\frac{e}{m}$ въ электромагнитныхъ единицахъ.	$v \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$	
$1{,}865 \times 10^7$	$0{,}7 \times 10^{10}$	для катодныхъ лучей (Симонъ).
$1{,}31 \times 10^7$	$2{,}36 \times 10^{10}$	Для лучей радія (Кауфманъ).
$1{,}17 \times$ „	$2{,}48 \times$ „	
$0{,}97 \times$ „	$2{,}59 \times$ „	
$0{,}77 \times$ „	$2{,}72 \times$ „	
$0{,}63 \times$ „	$2{,}83 \times$ „	

Изъ сопоставленія своихъ опытовъ, Кауфманъ заключаетъ, что предѣльное значеніе отношенія $\frac{e}{m}$ для лучей радія, имѣющихъ сравнительно малую скорость, было бы такое же, какое значеніе $\frac{e}{m}$ мы имѣемъ для катодныхъ лучей.

[1]) Abraham, Nachrichten d. k. Gesell. d. Wiss. zu Gœttingen, 1902, Heft 1.

[2]) Развитіе этого вопроса и очень полное изслѣдованіе о матеріальныхъ заряженныхъ центрахъ (объ электронахъ или корпускулахъ), а также рефераты относящихся сюда работъ можно найти въ диссертаціи Ланжевена (Langevin).

Эти наиболѣе обстоятельные опыты Кауфмана были имъ сдѣланы съ весьма малымъ зерномъ чистаго бромистаго радія, который мы предоставили въ его распоряженіе.

По опытамъ Кауфмана, нѣкоторые лучи β радія имѣютъ скорость, очень близкую къ скорости свѣта. Понятно, что столь быстрые лучи могутъ обладать такою большою силою проникновенія сквозь вещество.

Дѣйствіе магнитнаго поля на лучи α. Въ послѣдней своей работѣ Рузерфордъ опубликовалъ [1]), что въ сильномъ магнитномъ или электрическомъ полѣ лучи α радія легко отклоняются на подобіе положительно наэлектризованныхъ частичекъ, несущихся съ большой скоростью. Изъ своихъ опытовъ Рузерфордъ нашелъ, что скорость лучей α порядка величины $2^1/_2 \times 10^9 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ и что отношеніе $\frac{e}{m}$ для этихъ лучей порядка величины 6×10^3, т. е. въ 10^4 разъ болѣе, чѣмъ для лучей отклоняемыхъ β. Мы далѣе увидимъ, что этотъ выводъ Рузерфорда совпадаетъ съ прежде извѣстными свойствами лучеиспусканія α и позволяетъ, по крайней мѣрѣ отчасти, понять законъ поглощенія этого лучеиспусканія.

Опыты Рузерфорда были подтверждены Беккерелемъ. Беккерель показалъ также, что лучи полонія относятся къ магнитному полю такъ же, какъ лучи α радія и, кажется, при одинаковой силѣ поля даютъ одинаковую кривизну, какъ эти послѣдніе. Изъ опытовъ Беккереля слѣдуетъ, что лучи α не образуютъ магнитнаго спектра, но скорѣе представляютъ изъ себя однородное лучеиспусканіе, всѣ лучи котораго одинаково отклоняемы [2]).

Де-Кудръ измѣрилъ отклоненіе лучей α радія электрическимъ и магнитнымъ полемъ въ пустотѣ. Онъ нашелъ, что скорость этихъ лучей v равна $1{,}65 \times 10^9 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$, а отношеніе заряда къ массѣ $\frac{e}{m}$ равняется 6400 электромагнитнымъ

[1]) Rutherford, Physik. Zeitschrift, 15 janvier 1903.

[2]) Becquerel, Comptes rendus des 26 janvier et 16 fevrier 1903.

единицамъ [1]). Такимъ образомъ, скорость лучей α приблизительно въ 20 разъ меньше скорости свѣта. Отношеніе $\frac{e}{m}$ того же порядка величины, какой находятъ для водорода при электролизѣ: $\frac{e}{m} = 9650$. Если, такимъ образомъ, допустить, что зарядъ каждой частички такой же, какъ зарядъ (іонъ) атома водорода при электролизѣ, то можно заключить, что масса этой частички того же порядка величины, какъ и атомъ водорода.

Такимъ образомъ, мы видимъ, что какъ для лучей катодныхъ, такъ и для наиболѣе медленныхъ лучей β радія отношеніе $\frac{e}{m} = 1{,}865 \times 10^7$. Это отношеніе, такимъ образомъ, въ 2000 разъ больше того, которое получается при электролизѣ. Принимая, что зарядъ частички, отрицательно наэлектризованной, одинаковъ съ зарядомъ атома водорода, найдемъ, что предѣльная величина массы ея для скоростей сравнительно малыхъ приблизительно въ 2000 разъ меньше массы атома водорода.

Частички, которыя составляютъ лучи β, такимъ образомъ, гораздо мельче, имѣютъ бо̀льшую скорость, болѣе подвижны, чѣмъ тѣ, изъ которыхъ состоятъ лучи α. Отсюда легко понять, что первые легче проникаютъ сквозь тѣла, чѣмъ вторые.

Дѣйствіе магнитнаго поля на лучи другихъ радіоактивныхъ веществъ. Какъ мы видѣли выше, радій испускаетъ лучи α, подобные лучамъ закатоднымъ, лучи β, подобные лучамъ катоднымъ и лучи проникающіе и неотклоняемые γ. Полоній испускаетъ только лучи α. Между другими радіоактивными веществами, актиній по своимъ дѣйствіямъ, кажется, похожъ на радій, но изученіе лучеиспусканія этого тѣла еще не такъ подвинулось впередъ, какъ изученіе лучеиспусканія радія. Что касается веществъ слабо радіоактивныхъ, теперь уже установлено, что уранъ и торій испускаютъ какъ лучи α, такъ и лучи отклоняемые β (Беккерель, Рузерфордъ).

[1]) Des Coudres, Physik. Zeitschrift, 1-ier juin 1903.

Количество отклоняемыхъ лучей β въ лучеиспусканіи радія. Какъ я уже говорила, содержаніе лучей β въ пучкѣ идетъ увеличиваясь, по мѣрѣ удаленія отъ радіоактивнаго источника. Однако эти лучи никогда не появляются одни, и даже для большихъ разстояній всегда наблюдаютъ также присутствіе лучей γ. Присутствіе неотклоняемыхъ, сильно проникающихъ лучей въ лученспусканіи радія было въ первый разъ замѣчено Вилларомъ [1]). Эти лучи составляютъ, правда, только малую часть всего лучеиспусканія, измѣреннаго по электрическому методу, и ихъ присутствіе ускользало отъ насъ въ нашихъ первыхъ опытахъ. Такимъ образомъ, мы ошибочно тогда думали, что лучеиспусканіе на большихъ разстояніяхъ заключало только отклоняемые лучи.

Вотъ численные результаты, полученные при опытахъ, сдѣланныхъ по электрическому методу съ приборомъ, подобнымъ изображенному на фиг. 5. Радій былъ отдѣленъ отъ конденсатора только окружающимъ воздухомъ. Черезъ d я обозначаю разстояніе радіоактивнаго источника до конденсатора. Полагая силу тока, полученную безъ магнитнаго поля, для каждаго разстоянія равнымъ 100, числа второй строки показываютъ силу тока, который проходилъ при дѣйствіи поля. Эти числа могутъ быть разсматриваемы, какъ выражающія процентное содержаніе суммы лучей α и γ, отклоняемость же лучей α могла быть не замѣчена при употребленномъ расположеніи опыта.

d въ сантиметрахъ	3,4	5,1	6,0	6,5
въ процентахъ количество неотклоненныхъ лучей	74	56	34	11

Опыты, сдѣланные на большихъ разстояніяхъ съ продуктомъ, значительно болѣе активнымъ, чѣмъ тѣ, которые были употреблены для предыдущей серіи, дали;

d въ сантиметрахъ	14	30	53	80	98	124	157
въ процентахъ количество неотклоненныхъ лучей	12	14	17	14	16	14	11

Видно, что, начиная съ нѣкотораго разстоянія, количество лучей неотклоняемыхъ въ лучеиспусканіи становится приблизительно постояннымъ. Эти лучи, вѣроятно, принад-

[1]) Villard, Comptes rendus, t. CXXX, p. 1010.

лежатъ къ категоріи лучей γ. Однако, не слѣдуетъ придавать ужъ очень большое значеніе нѣкоторой неправильности въ числахъ второй строки, если обратить вниманіе на то, что силы всего тока въ послѣднихъ двухъ опытахъ были въ отношеніи 660 къ 10. Измѣренія могли быть продолжены до разстоянія въ 1,57 m. отъ радіоактивнаго источника, а въ настоящее время мы могли бы идти еще и дальше.

Вотъ другая серія опытовъ, въ которыхъ радій былъ заключенъ въ очень узкую стеклянную трубку, положенную подъ конденсаторъ и параллельно его пластинкамъ. Испускаемые радіемъ лучи пронизывали нѣкоторую толщину стекла и воздуха, прежде чѣмъ войти въ конденсаторъ.

d въ сантиметрахъ . .	2,5	3,3	4,1	5,9	7,5	9,6	11,3	13,9	17,2
на 100 неотклон. лучей	33	33	21	16	14	10	9	9	10

Какъ и въ предыдущихъ опытахъ, числа второй строки стремятся къ постоянной величинѣ, когда разстояніе d увеличивается, но предѣлъ замѣтно достигается для меньшихъ разстояній, чѣмъ въ предыдущихъ опытахъ, такъ какъ лучи α болѣе сильно поглощены стекломъ, чѣмъ лучи β и γ.

Вотъ другой опытъ, который показываетъ, что аллюминіевая тонкая пластинка (толщиною 0,01 mm.) поглощаетъ, главнымъ образомъ, лучи α. Положивъ вещество въ разстояніи 5 см. отъ конденсатора, находятъ, что, при дѣйствіи магнитнаго поля, количество другихъ лучей, чѣмъ β, составляетъ 71%. Оставляя то же самое разстояніе и употребляя то же самое вещество, но покрытое пластинкой аллюминія, находятъ, что прошедшее лученспусканіе почти все отклонено магнитнымъ полемъ, лучи α были поглощены пластинкой. Тотъ же самый результатъ получается при употребленіи бумаги, какъ поглощающаго экрана.

Самую большую часть лученспусканія радія составляютъ лучи α, которые, вѣроятно, испускаются, главнымъ образомъ, поверхностнымъ слоемъ радіоактивнаго вещества.

Когда измѣняютъ толщину слоя радіоактивнаго вещества, сила тока увеличивается съ этой толщиной; однако, это увеличеніе не пропорціонально приращенію толщины для всего лученспусканія. Оно къ тому же гораздо значительнѣе для лучей β, чѣмъ для лучей α. Такимъ образомъ, количество лучей β идетъ возрастая съ толщиною активнаго слоя. Положивъ радіоактивное вещество на разстояніе 5 см. отъ конденсатора, находятъ, что, при толщинѣ активнаго слоя въ 0,4 mm., все лученспусканіе выражается числомъ 28, а количество лучей β составляетъ 29% его. Давая активному слою толщину въ 2 mm., т. е. въ 5 разъ больше, получаютъ все лученспусканіе = 102, а количество лучей отклоняемыхъ β составляетъ 45%. Такимъ образомъ, все лученспусканіе, которое дѣйствовало на этомъ разстояніи, было увеличено въ отношеніи 3,6, а лученспусканіе отклоняемыхъ лучей β сдѣлалось приблизительно въ 5 разъ сильнѣе.

Предыдущіе опыты были сдѣланы по электрическому методу. Когда работаютъ по радіографическому методу, нѣкоторые результаты, оказываются, повидимому, въ противорѣчіи съ тѣмъ, что изложено выше. Въ опытахъ Виллара пучекъ лучей радія, подверженный дѣйствію магнитнаго поля, принимался на стопу фотографическихъ пластинокъ. Пучекъ неотклоняемыхъ и проникающихъ лучей γ пронизывалъ всѣ пластинки и оставлялъ на каждой изъ нихъ слѣдъ. Пучекъ же отклоняемыхъ лучей β производилъ отпечатокъ только на первой пластинкѣ. Такимъ образомъ, этотъ послѣдній, повидимому, совсѣмъ не содержитъ лучей большой проницаемости.

Напротивъ, въ нашихъ опытахъ пучекъ, который распространяется въ воздухѣ, на очень большихъ растояніяхъ, доступныхъ наблюденію, содержитъ приблизительно 0,9 отклоняемыхъ лучей β, и это было даже тогда, когда радіоактивное вещество было помѣщено въ маленькую запаянную стеклянную ампульку. Въ опытахъ Виллара эти отклоняемые и проникающіе лучи β не дѣйствовали на фотографическія пластинки, помѣщенныя подъ первой изъ нихъ, такъ какъ они, большею частью, первымъ встрѣчнымъ твердымъ препятствіемъ разсѣиваются во всѣхъ направленіяхъ и перестаютъ образовывать пучекъ. Въ нашихъ опытахъ лучи, испускаемые радіемъ и прошедшіе черезъ стекло ампульки, были, вѣроятно, также разсѣяны стекломъ, но ампулька была очень мала, дѣйствовала тогда сама, какъ источникъ отклоняемыхъ лучей β, исходящихъ изъ ея поверхности, и мы могли тогда наблюдать эти послѣдніе на большомъ разстояніи отъ ампульки.

Катодные лучи въ трубкѣ Крукса могутъ пронизывать

только очень тонкіе экраны (аллюминіевый экранъ толщиною до 0,01 mm.). Пучекъ лучей, который падаетъ перпендикулярно на экранъ, разсѣивается во всѣ стороны, но разсѣяніе становится тѣмъ меньше, чѣмъ тоньше экранъ, и для очень тонкихъ экрановъ существуетъ пучекъ, который есть непосредственное продолженіе падающаго пучка [1]).

Лучи β радія обладаютъ подобными же свойствами, но отклоняемый пучекъ, пропущенный сквозь экранъ равной толщины, испытываетъ менѣе глубокое измѣненіе.

По опытамъ Беккереля, лучи β радія, сильно отклоняемые (которые имѣютъ относительно малую скорость), сильно разсѣиваются аллюминіевымъ экраномъ толщиною въ 0,1 mm., но лучи проникающіе и мало отклоняемые (лучи типа катодныхъ большой скорости) пронизываютъ тотъ же самый экранъ безъ какого либо замѣтнаго разсѣянія и пучекъ, который они составляютъ, не измѣняется, каковъ бы ни былъ наклонъ экрана по отношенію къ пучку.

Лучи β большой скорости проникаютъ безъ разсѣянія значительно болѣе толстые слои парафина (въ нѣсколько см.) и можно слѣдить при этомъ за искривленіемъ пучка, произведеннымъ магнитнымъ полемъ. Чѣмъ толще экранъ и чѣмъ сильнѣе его вещество поглощаетъ лучи, тѣмъ больше измѣняется первоначальный отклоняемый пучекъ, ибо, по мѣрѣ увеличенія толщины экрана, разсѣяніе начинаетъ давать себя чувствовать на новыхъ группахъ лучей, все болѣе и болѣе проникающихъ. Воздухъ, черезъ который проходятъ лучи β радія, также разсѣиваетъ ихъ и это разсѣяніе болѣе замѣтно для лучей сильно отклоняемыхъ, однако, оно менѣе значительно, чѣмъ то, которое было бы произведено слоемъ твердаго вещества равной толщины. Вотъ почему отклоняемые лучи β радія распространяются въ воздухѣ на большомъ разстояніи.

Способность прониканія лучей радіоактивныхъ тѣлъ. — Въ началѣ изслѣдованія свойствъ радіоактивныхъ тѣлъ преимущественно занялись изученіемъ поглощенія различными экранами тѣхъ лучей, которые испускаютъ эти тѣла. Въ первомъ своемъ сочиненіи по данному вопросу [2]) я дала

[1]) Des Coudres, Physik. Zeitschrift, novembre 1902.

[2]) M-me Curie, Comptes rendus, avril 1898.

нѣсколько чиселъ, приведенныхъ мною въ началѣ настоящей работы, которыя характеризуютъ относительное прониканіе лучей урана и торія. Рузерфордъ болѣе спеціально изучалъ радіоактивность урана [1]) и доказалъ, что лучи урана не однородны. Овенсъ вывелъ то же самое заключеніе и относительно лучей торія [2]). Тотчасъ послѣ открытія сильныхъ радіоактивныхъ тѣлъ, многіе физики (Беккерель, Мейеръ, Швейдлеръ, Кюри, Рузерфордъ) изучали способность прониканіе лучей этихъ тѣлъ. Первыя наблюденія показали ясно разнородность лученспусканія, которая, кажется, представляетъ собою общее и присущее радіоактивнымъ веществамъ явленіе [3]). Такимъ образомъ, мы имѣемъ источники, испускающіе цѣлый комплексъ лучей, при чемъ каждый обладаетъ присущей ему способностью прониканія. Вопросъ осложняется еще тѣмъ фактомъ, что нужно опредѣлить, въ какой мѣрѣ природа лученспусканія можетъ измѣниться при прохожденіи лучей черезъ различныя матеріальныя тѣла, вслѣдствіе чего всякое опытное измѣреніе можетъ считаться точнымъ только при данномъ расположеніи опыта.

Сдѣлавши эти замѣчанія, можно попытаться сопоставить различные опыты и дать общіе выводы.

Радіоактивныя тѣла испускаютъ лучи, которые распространяются въ воздухѣ и въ пустотѣ. Распространеніе лучей прямолинейно. Этотъ фактъ подтверждается отчетливостью и формою тѣней, отбрасываемыхъ тѣлами, непрозрачными для лучей, поставленными по дорогѣ этихъ лучей, между источникомъ и чувствительною пластинкой или флуоресцирующимъ экраномъ, которые служатъ пріемникомъ, при этомъ источникъ долженъ имѣть небольшіе размѣры по отношенію къ разстоянію его отъ пріемника. Различные опыты, которые доказываютъ прямолинейность распространенія лучей, испускаемыхъ ураномъ, радіемъ и полоніемъ, сдѣланы Беккерелемъ [4]).

[1]) Rutherford, Phil. Mag., janvier 1899.

[2]) Owens, Phil. Mag., octobre 1899.

[3]) Becquerel, Rapports au Congrès de Physique, 1900. — Meyer et von Schweidler, Comptes rendus de l'Acad. de Vienne, mars 1900 (Physik. Zeitschrift, t. I, p. 209).

[4]) Becquerel, Comptes rendus, t. CXXX, p. 979 et 1154.

Интересно знать то разстояніе, на которое могутъ распространяться эти лучи отъ испускающаго ихъ источника въ воздухѣ. Мы нашли, что лучи радія могутъ быть наблюдаемы въ воздухѣ на разстояніи нѣсколькихъ метровъ. Въ нѣкоторыхъ нашихъ электрическихъ измѣреніяхъ дѣйствіе источника на воздухъ въ конденсаторѣ было замѣтно на разстояніи въ предѣлахъ отъ 2 до 3 метровъ. На разстояніяхъ того же порядка мы получали также и фосфоресценцію и фотографическое дѣйствіе. Эти опыты легко удаются только съ очень сильными радіоактивными источниками, потому что, независимо отъ поглощенія воздухомъ, дѣйствіе на пріемникъ измѣняется обратно пропорціонально квадрату разстоянія при малыхъ размѣрахъ источника. Это лученспусканіе, которое распространяется на большое разстояніе отъ радія, включаетъ въ себя какъ лучи, подобные катоднымъ, такъ равно и лучи неотклоняемые. Однако, лучи неотклоняемые при этомъ значительно преобладаютъ, судя по тѣмъ опытамъ, которые я привела выше. Что же касается лученспусканія лучей α, то оно, напротивъ, ограничено въ воздухѣ разстояніемъ приблизительно въ 7 см. отъ источника.

Я сдѣлала нѣсколько опытовъ съ радіемъ, запаяннымъ въ маленькій стеклянный пузырекъ. Лучи, выходившіе изъ этого пузырька, проходили нѣкоторое разстояніе въ воздухѣ и принимались конденсаторомъ, который служилъ для измѣренія ихъ іонизирующей силы обыкновеннымъ электрическимъ методомъ. Измѣняя разстояніе d отъ источника до конденсатора, измѣряли токъ насыщенія i, получавшійся въ конденсаторѣ. Вотъ результаты одного ряда измѣреній:

d cm.	i	$(i \times d^2) \times 10^{-3}$.
10	127	13
20	38	15
30	17,4	16
40	10,5	17
50	6,9	17
60	4,7	17
70	3,8	19
100	1,65	17

Начиная съ извѣстнаго разстоянія, напряженность лученспусканія измѣнялась почти точно обратно пропорціонально квадрату разстоянія до конденсатора.

Лученспусканіе полонія распространяется въ воздухѣ только на разстояніи нѣсколькихъ сантиметровъ (4—6) отъ источника.

Если разсмотрѣть поглощеніе радіоактивныхъ лучей при прохожденіи ихъ черезъ твердые экраны, то можно констатировать существенное различіе между радіемъ и полоніемъ. Радій испускаетъ лучи, способные проникать черезъ толстые слои твердыхъ тѣлъ, какъ, напримѣръ, полосы свинца или стекла въ нѣсколько сантиметровъ толщиною [1]).

Лучи, которые прошли черезъ большую толщу твердыхъ тѣлъ, обладаютъ въ чрезвычайной мѣрѣ способностью проникновенія и, практически говоря, ихъ невозможно чѣмъ бы то ни было поглотить цѣликомъ. Но эти лучи составляютъ небольшую часть всего лученспусканія, большую часть котораго можно, напротивъ, поглотить тонкимъ слоемъ твердыхъ тѣлъ.

Лучи полонія чрезвычайно легко поглощаются и могутъ проникать лишь черезъ очень тонкіе твердые экраны.

Вотъ, напримѣръ, нѣсколько чиселъ, показывающихъ относительное поглощеніе лучей, при прохожденіи ихъ черезъ пластинку аллюминія толщиною въ 0,01 mm. Эта пластинка была помѣщена сверху и почти касалась самаго вещества. Лученспусканіе, какъ прямое, такъ и пропущенное черезъ эту пластинку, измѣрялось электрическимъ методомъ (фиг. 1); во всѣхъ случаяхъ явственно получался токъ насыщенія. Я обозначаю черезъ a активность лучей различныхъ веществъ, принимая уранъ за единицу.

	a.	Часть радіаціи, прошедшая черезъ пластинку аллюминія.
Хлористый барій, содержащій радій .	57	0,32
Бромистый „ „ „ . .	43	0,30
Хлористый „ „ „ . .	1200	0,30
Сѣрнокислый „ „ „ . .	5000	0,29
Сѣрнокислый „ „ „ . . .	10000	0,32
Металлическій висмутъ съ полоніемъ		0,22
Соединенія урана		0,22
Соединенія торія въ тонкомъ слоѣ		0,38

[1]) M. et M-me Curie, Rapports au Congrès 1900.

Оказывается, что радіоактивныя соединенія, различныя и по природѣ, и по активности, даютъ очень аналогичные результаты, на что я уже указывала въ началѣ настоящей работы для соединеній урана и торія. Очевидно также, что если мы будемъ разсматривать количество лучей, прошедшихъ черезъ пластинку, по отношенію къ полному лучеиспусканію, то придется различныя радіоактивныя вещества расположить въ слѣдующій рядъ по убывающей способности прониканія испускаемыхъ ими лучей: торій, радій, полоній, уранъ.

Эти результаты сходны съ опубликованными Рузерфордомъ въ его мемуарѣ по этому вопросу [1]).

Рузерфордъ, кромѣ того, нашелъ, что порядокъ остается тотъ же самый и тогда, когда поглощаемымъ веществомъ является воздухъ. Но, вѣроятно, этотъ порядокъ не имѣетъ значенія чего-то абсолютнаго и не могъ бы быть установленъ независимо отъ природы и толщины экрана. Опытъ, дѣйствительно, показываетъ, что законъ поглощенія очень различенъ для полонія и радія, и для этого послѣдняго нужно принять во вниманіе и разсмотрѣть отдѣльно поглощеніе лучей каждой изъ трехъ группъ.

Полоній въ особенности годится для изученія лучей α, такъ какъ образцы, которые мы имѣемъ, совершенно не испускаютъ другихъ лучей. Я сдѣлала первую серію опытовъ съ образцами полонія, чрезвычайно активными и свѣжеприготовленными. Я нашла, что лучи полонія тѣмъ болѣе поглощаемы, чѣмъ болѣе толщина вещества, черезъ которое уже они прошли [2]). Этотъ законъ поглощенія совершенно особенный и противоположенъ тому, который мы знаемъ для другихъ лучей.

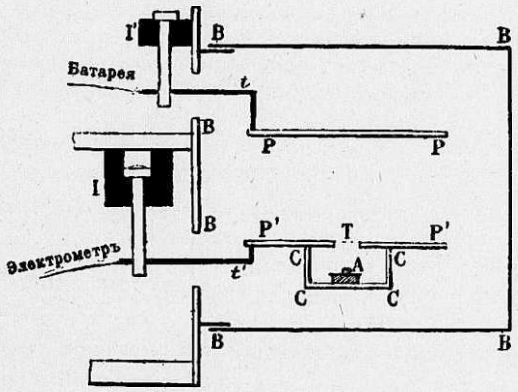
Въ этомъ изслѣдованіи я употребляла нашъ приборъ для измѣренія электрической проводимости слѣдующаго устройства.

Двѣ пластинки конденсатора PP и P_1P_1 (фиг. 8) расположены горизонтально и защищены металлической коробкой BBBB, соединенной съ землей. Радіоактивное тѣло A помѣщено въ толстую металлическую коробку CCCC, составляющую одно цѣлое съ пластинками P_1P_1, и дѣйствуетъ на воздухъ въ конденсаторѣ сквозь металлическую пластинку T. Лучи, проникающіе сквозь эту пластинку,

[1]) Rutherford, Phil. Mag., juillet 1902.

[2]) M-me Curie, Comptes rendus, 8 janvier 1900.

Фиг. 8.



суть единственные, которые служатъ для образованія тока, электрическое поле ограничено пластинкою T. Можно измѣнять разстояніе AT отъ активнаго тѣла до пластинки.

Поле между пластинками поддерживается посредствомъ батареи. Токъ измѣряется посредствомъ электрометра и пьезо-электрическаго кварца.

Если положить въ A на активное тѣло различные экраны и измѣнять разстояніе AT, можно измѣрить поглощеніе лучей, имѣющихъ большую или меньшую длину пути въ воздухѣ.

Вотъ результаты, полученные съ полоніемъ.

При нѣкоторой величинѣ разстоянія AT (4 см. и больше) никакого электрическаго тока не получается, лучи не проникаютъ въ конденсаторъ. Если разстояніе AT уменьшимъ, то лучи въ конденсаторѣ появляются вдругъ, такъ что, уже при небольшомъ уменьшеніи разстоянія, переходимъ отъ очень слабаго тока къ току весьма сильному. При дальнѣйшемъ приближеніи радіоактивнаго тѣла къ пластинкѣ T, токъ растетъ правильно.

Когда радіоактивное вещество покрываютъ листкомъ плющеннаго аллюминія въ 0,01 mm. толщиною, то поглощеніе лучеиспусканія, производимое этимъ листкомъ, тѣмъ болѣе, чѣмъ больше разстояніе AT.

Если на первую пластинку аллюминія положить точно такую же вторую, то каждая пластинка поглощаетъ опредѣленную долю лучеиспусканія, дошедшаго до нея; эта

доля больше для второй, чѣмъ для первой; такимъ образомъ, вторая пластинка кажется болѣе поглощающей.

Въ ниже помѣщенной таблицѣ, въ первой строкѣ дано разстояніе въ сантиметрахъ между полоніемъ и пластинкою T; во второй—количество лучей въ процентахъ, прошедшее черезъ пластинку аллюминія, въ третьей—количество лучей также въ процентахъ, которое прошло черезъ обѣ одинаковыя пластинки аллюминія.

Разстояніе AT	3,5	2,5	1,9	1,45	0,5
Лучи въ %, прошедшіе черезъ 1 пл. аллюминія.	0	0	5	10	25
Лучи въ %, прошедшіе черезъ 2 пластинки аллюминія . .	0	0	0	0	0,7

Въ этихъ опытахъ разстояніе между пластинками конденсатора P и P′ было 3 см. Оказывается, что загораживаніе лучей пластинкою аллюминія уменьшаетъ интенсивность лученспусканія въ болѣе сильной степени въ пространствѣ, лежащемъ далѣе отъ источника, чѣмъ въ ближайшемъ.

Это явленіе выступаетъ еще рѣзче, чѣмъ это указано приведенными числами.

Такимъ образомъ, прониканіе 25 % для разстоянія въ 0,5 см. представляетъ среднюю величину для всѣхъ лучей, которые идутъ дальше этого разстоянія, эти послѣдніе лучи имѣютъ очень слабое прониканіе. Если бы, напр., измѣрять лучи, заключающіеся въ пространствѣ отъ 0,5 см. до 1 см., то имѣли бы большій % прониканіе. Дѣйствительно, если приблизить дискъ P на разстояніе въ 0,5 см. отъ диска P′, то часть лученспусканія, прошедшая черезъ пластинку аллюминія (для AT = 0,5 см.), будетъ 47 %, а пропущенная черезъ 2 пластинки, составляетъ 5 % первоначальнаго лучеиспусканія.

Я недавно сдѣлала вторую серію опытовъ съ тѣми же самыми образцами полонія, активность которыхъ уже значительно уменьшилась, промежутокъ времени, который раздѣлялъ эти обѣ серіи опытовъ, былъ три года.

Въ прежнихъ опытахъ полоній былъ въ видѣ азотистой соли, въ позднѣйшихъ же опытахъ онъ былъ въ видѣ металлическихъ зеренъ, выдѣленныхъ изъ азотистаго соединенія сплавленіемъ съ ціанистымъ каліемъ.

Я нашла, что лученспусканіе полонія сохраняетъ тѣ же самыя существенныя особенности, но также получила и нѣсколько новыхъ результатовъ.

Вотъ для различныхъ разстояній AT доли всего лучеиспусканія, прошедшія черезъ экранъ, составленный изъ 4-хъ очень тонкихъ листовъ прокатнаго аллюминія, положенныхъ одинъ на другой.

Разстояніе AT въ сантим.	0	1,5	2,6
На 100 частей прошло черезъ экранъ .	76	66	39

Я также нашла, что часть лученспусканія, поглощенная даннымъ экраномъ, увеличивается съ толщиною вещества, которое уже было пройдено этимъ лученспусканіемъ, но это можетъ случиться, начиная лишь съ извѣстной величины разстоянія AT. Когда это разстояніе нуль (полоній около самой пластинки, снаружи или внутри конденсатора), то замѣчается, что изъ нѣсколькихъ тождественныхъ экрановъ, расположенныхъ одинъ надъ другимъ, каждый поглощаетъ опредѣленную долю дошедшаго до него лученспусканія, иначе говоря, убываніе интенсивности лученспусканія выражается въ видѣ показательной функціи отъ толщины проходимаго слоя вещества, какъ это имѣетъ мѣсто для однороднаго лученспусканія, проходящаго черезъ пластинки безъ измѣненія его природы.

Вотъ нѣсколько численныхъ результатовъ, относящихся къ этимъ опытамъ:

Для разстоянія AT, равнаго 1,5 см. тонкій экранъ изъ аллюминія пропускаетъ 0,51 того лученспусканія, которое онъ получаетъ, когда дѣйствуетъ только одинъ, и тотъ же экранъ, съ наложеннымъ на него другимъ такимъ же экраномъ, уже пропускаетъ 0,34 полученнаго имъ лучеиспусканія.

Напротивъ, для разстоянія AT = 0 этотъ экранъ въ обоихъ разсмотрѣнныхъ случаяхъ передаетъ одну и ту же часть лученспусканія и эта часть равна 0,71. Итакъ, она значительно больше, чѣмъ та, которая была въ предыдущемъ случаѣ.

Вотъ для разстоянія AT = 0 и для очень тонкихъ экрановъ, расположенныхъ одинъ надъ другимъ, числа, которыя показываютъ послѣдовательно для каждаго экрана отношеніе прошедшей черезъ него радіаціи къ полученной этимъ экраномъ.

Серія изъ 9 очень тонкихъ мѣдныхъ листочковъ.	Серія изъ 7 очень тонкихъ аллюминіевыхъ листочковъ.
0,72	0,69
0,78	0,94
0,75	0,95
0,77	0,91
0,70	0,92
0,77	0,93
0,69	0,91
0,79	
0,68	

Такъ какъ при употребленіи очень тонкихъ экрановъ и ихъ соприкосновеніи при расположеніи одинъ надъ другимъ встрѣчаются трудности, то числа каждаго ряда можно разсматривать, какъ постоянныя. Однако, первое число ряда, относящагося къ аллюминію, показываетъ поглощеніе болѣе сильное, чѣмъ числа, соотвѣтствующія слѣдующимъ листамъ.

Лучи α радія по характеру сходны съ лучами полонія. Эти лучи можно изучить, совершенно изолировавъ ихъ отъ лучей β, легко отклоняющихся въ магнитномъ полѣ.

Лучи γ въ дѣйствительности, кажется, менѣе важны по отношенію къ лучамъ α. Однако, эти опыты можно производить, только начиная съ опредѣленнаго разстоянія отъ радіоактивнаго источника.

Вотъ результаты опытовъ этого рода. Измѣряли часть лучеиспусканія, пропущенную пластинкою аллюминія толщиною въ 0,01 mm. Эта пластинка помѣщалась всегда на одномъ и томъ же мѣстѣ сверху и на маленькомъ разстояніи отъ источника. Токъ, получавшійся въ конденсаторѣ, для различныхъ значеній разстоянія AD, въ присутствіи пластинки и въ отсутствіи ея, наблюдался посредствомъ прибора, изображеннаго на фиг. 5.

Разстояніе AD	6,0	5,1	3,4
Часть лучеиспусканія въ %, прошедшая черезъ аллюминій	3	7	24

Это суть еще лучи, которые шли болѣе далеко въ воздухѣ и которые болѣе поглощаются аллюміемъ.

Итакъ, существуетъ большое сходство между поглощаемой частью лучей α радія и лучами полонія.

Отклоняемые магнитомъ лучи β и неотклоняемые лучи γ, напротивъ, другой природы. Опыты различныхъ физиковъ, какъ, напр., Мейера и Швейдлера, [1]) показываютъ ясно, что, если мы разсмотримъ полное лучеиспусканіе радія, то способность проникновенія увеличивается съ толщиною пронизаннаго вещества, какъ это наблюдается для лучей Рентгена. Въ этихъ опытахъ лучи α примѣшаны весьма мало, такъ какъ эти лучи практически устраняются очень тонкими поглощающими экранами. То, что проходитъ, — это, съ одной стороны, болѣе или менѣе разсѣянные лучи β, а съ другой—лучи γ, которые, кажется, сходны съ лучами Рентгена.

Вотъ результаты моихъ опытовъ по этому предмету.

Радій былъ заключенъ въ стеклянный пузырекъ. Лучи радія, которые исходятъ изъ этого пузырька, проходятъ въ воздухѣ разстояніе 30 см. и принимаются рядомъ стеклянныхъ пластинокъ, толщиною въ 1,3 mm. каждая. Первая пластинка пропускаетъ 49% получаемаго ею лучеиспусканія, вторая 84%, а третья 85%.

Въ другой серіи опытовъ радій былъ заключенъ въ стеклянный пузырекъ, который помѣщался въ разстояніи 10 см. отъ конденсатора, принимавшаго лучи. На пузырекъ клали рядъ свинцовыхъ, совершенно одинаковыхъ экрановъ, толщиною каждый въ 0,115 mm.

Въ слѣдующемъ рядѣ чиселъ приведено послѣдовательно для каждой пластинки отношеніе прошедшаго черезъ нее лучеиспусканія къ полученному этою пластинкою:

0,40 0,60 0,72 0,79 0,89 0,92 0,94 0,94 0,97

Для серіи изъ 4-хъ свинцовыхъ экрановъ, толщиною въ 1,5 mm. каждый, отношеніе прошедшей радіаціи къ полученной выражается слѣдующими числами послѣдовательно для каждой изъ этихъ пластинокъ:

0,09 0,78 0,84 0,82

Изъ этихъ опытовъ слѣдуетъ, что, когда толщина пронизываемаго лучами радія свинца увеличивается отъ 0,1 mm. до 6 mm., способность прониканія идетъ увеличиваясь.

Я нашла, что, въ условіяхъ вышеприведенныхъ опы-

[1]) Meyer et von Schweidler, Physik. Zeitschrift, t. I, p. 209.

товъ, свинцовый экранъ толщиною въ 1,8 mm. пропускаетъ 2% полученнаго лучеиспусканія. Свинцовый же экранъ толщиною въ 5,3 см. передаетъ еще 4% полученнаго имъ лучеиспусканія. Я нашла также, что лучеиспусканіе, прошедшее черезъ толщу свинца въ 1,5 mm., содержитъ значительную часть лучей, отклоняемыхъ магнитомъ (рода катодныхъ). Эти послѣдніе лучи способны проникнуть не только черезъ большія разстоянія въ воздухѣ, но также черезъ значительно толстыя, твердыя, сильно поглощающія вещества, какъ, напримѣръ, свинецъ.

Когда съ помощью прибора, изображеннаго на фиг. 2, изучаютъ поглощенія пластинкою аллюминія, толщиною въ 0,1 mm., полнаго лучеиспусканія радія, то эта пластинка всегда помѣщается на одномъ и томъ же разстояніи отъ активнаго вещества, конденсаторъ же располагаютъ на различномъ разстояніи AD.

Полученные результаты зависятъ отъ совокупнаго дѣйствія всѣхъ трехъ группъ лучей. Если наблюдать на большомъ разстояніи, то проникающіе лучи преобладаютъ и поглощеніе слабо, если же наблюденія ведутся при маломъ разстояніи, то преобладаютъ лучи α и поглощеніе, по мѣрѣ приближенія къ активному веществу, становится болѣе слабымъ. При разстояніяхъ промежуточныхъ, поглощеніе идетъ черезъ максимумъ и проникновеніе черезъ минимумъ.

Разстояніе AD	7,1	6,5	6,0	5,1	3,4
Часть радіаціи, прошедшая черезъ аллюминій въ %	91	82	58	41	48

Однако, нѣкоторые опыты, относящіеся къ поглощенію лучей радія твердыми экранами, позволяютъ убѣдиться въ нѣкоторой аналогіи между лучами α и лучами отклоняемыми β. Такъ, Беккерель нашелъ, что поглощающее дѣйствіе твердаго экрана на лучи β увеличивается съ разстояніемъ этого экрана до источника. Такимъ образомъ, если лучи подвергнуты дѣйствію магнитнаго поля, какъ показано на фиг. 4, то экранъ, положенный со стороны радіоактивнаго вещества, пропускаетъ большую часть магнитнаго спектра, чѣмъ тотъ же экранъ, положенный на фотографическую пластинку. Это измѣненіе поглощающаго дѣйствія экрана съ измѣненіемъ этого разстоянія экрана до источника лучеиспусканія аналогично

тому, что мы имѣемъ для лучей α. Это было подтверждено Мейеромъ и Швейдлеромъ, которые дѣлали свои изслѣдованія по флуороскопическому методу. Я. и г. Кюри наблюдали тотъ же самый фактъ, пользуясь электрическимъ методомъ. Условія возникновенія этого явленія еще не изучены. Однако, когда радій заключенъ въ стеклянную трубочку и помѣщенъ на довольно большомъ разстояніи отъ конденсатора, который, въ свою очередь, тоже заключенъ въ тонкую аллюминіевую коробку, безразлично — положить-ли экранъ противъ источника или противъ конденсатора. Токъ, полученный въ томъ и другомъ случаѣ, былъ одинаковый.

Изученіе лучей α привело меня къ убѣжденію, что эти лучи дѣйствуютъ подобно брошеннымъ съ нѣкоторою скоростью ядрамъ, которыя теряютъ свою живую силу, встрѣчая препятствія [1]).

Эти лучи распространяются прямолинейно, какъ это показалъ Беккерель въ слѣдующемъ опытѣ. Полоній, испускающій лучи, былъ помѣщенъ въ очень узкое, линейное углубленіе, сдѣланное въ листѣ картона. Такимъ образомъ, получался линейный источникъ лучей. Мѣдная проволока діаметромъ 1,5 mm. помѣщалась параллельно противъ источника, на разстояніи 4,9 mm. Еще далѣе, параллельно листу картона располагали фотографическую пластинку на разстояніи 8,65 mm. По истеченіи 10 минутъ экспозиціи, получалась на пластинкѣ отличная геометрическая тѣнь этой проволоки предвидѣнныхъ размѣровъ, а очень узкія полутѣни съ каждой стороны точно согласовались съ шириною источника. Тотъ же самый опытъ также хорошо удается, если положить противъ проволоки двойной листикъ плющеннаго аллюминія, черезъ который должны проходить лучи.

Такимъ образомъ, здѣсь идетъ рѣчь о лучахъ, способныхъ дать отчетливую геометрическую тѣнь. Опытъ съ аллюминіемъ показываетъ, что эти лучи, при прохожденіи черезъ пластинку, не разсѣиваются и что эта пластинка не испускаетъ, по крайней мѣрѣ въ значительномъ количествѣ, вторичныхъ лучей, аналогичныхъ вторичнымъ лучамъ, возбуждаемымъ Рентгеновыми лучами.

Лучи α, повидимому, дѣйствуютъ въ прекрасномъ опытѣ,

---

[1]) M-me Curie, Comptes rendus, 8 janvier 1900.

въ такъ называемомъ *спинтарископъ* Крукса [1]). Этотъ приборъ въ существенной своей части состоитъ изъ крупинки соли радія, укрѣпленной на концѣ металлической проволоки передъ фосфоресцирующимъ экраномъ изъ сѣрнокислаго цинка. Крупинка радія помѣщена на очень маленькомъ разстояніи отъ экрана (напр., 0,5 mm.). Поверхность экрана, обращенную къ радію, можно разсматривать черезъ лупу. Въ этихъ условіяхъ глазъ наблюдаетъ на экранѣ настоящій дождь свѣтящихся точекъ, которыя непрерывно появляются и исчезаютъ. Экранъ представляетъ видъ звѣзднаго неба. Блестящія точки болѣе густо расположены въ частяхъ экрана, сосѣднихъ съ радіемъ, въ непосредственной же близости къ радію, свѣтъ кажется непрерывнымъ. Движеніе воздуха, повидимому, не измѣняетъ явленія, оно происходитъ и въ пустотѣ. Экранъ даже очень тонкій, помѣщенный между радіемъ и фосфоресцирующей поверхностью, уничтожаетъ явленіе. Очевидно, что это явленіе происходитъ подъ дѣйствіемъ наиболѣе легко поглощаемыхъ лучей α радія.

Можно вообразить, что появленіе каждой свѣтящейся точки на фосфоресцирующемъ экранѣ возбуждается ударомъ отдѣльныхъ частичекъ, несущихся отъ радія. Въ такомъ случаѣ, впервые мы имѣли бы дѣло съ явленіемъ, позволяющимъ отличить дѣйствія отдѣльныхъ частичекъ, имѣющихъ размѣры того же порядка, какъ и атомы.

Видъ этихъ свѣтящихся точекъ такой же самый, какъ видъ звѣздъ или ультрамикроскопическихъ, сильно освѣщенныхъ частичекъ, которыя не производятъ отчетливаго изображенія на сѣтчатой оболочкѣ глазъ, а даютъ диффракціонное пятно и это вполнѣ согласуется съ представленіемъ, по которому каждая весьма малая свѣтящаяся точка получается вслѣдствіе удара одного атома.

Лучи проникающіе и неотклоняемые γ, повидимому, совсѣмъ другой природы и представляются подобными лучамъ Рентгена. Ничто не доказываетъ, однако, что мало-проникающіе лучи той же самой природы не могутъ существовать въ общемъ лученспусканіи радія, такъ какъ они могутъ быть не замѣчены, благодаря присутствію въ лученспусканіи несущихся частичекъ.

---

[1]) Chem. news, 3 avril 1903.

Изъ всего сказаннаго мы видимъ, насколько сложно явленіе лученспусканія радіоактивныхъ веществъ. Трудность изученія этого явленія увеличивается тѣмъ обстоятельствомъ, что нужно еще изслѣдовать, испытываютъ-ли эти лучи только избирательное поглощеніе веществомъ или они претерпѣваютъ, болѣе или менѣе, глубокое измѣненіе.

Относительно этого вопроса извѣстно еще мало, однако же, если допустить, что лученспусканіе радія содержитъ лучи типа катодныхъ и типа Рентгена, то можно ожидать, что это лученспусканіе испытываетъ измѣненіе при прохожденіи черезъ экраны. Дѣйствительно, извѣстно, что 1) лучи катодные, которые выходятъ изъ трубки Крукса, сильно разсѣиваются аллюминіемъ, проходя черезъ аллюминіевое окошечко (опытъ Ленара), и что, кромѣ того, прохожденіе ихъ черезъ экранъ влечетъ за собою уменьшеніе ихъ скорости; такъ, напр., катодные лучи, имѣющіе скорость $1{,}4 \times 10^{10}$ см., теряютъ 10% своей скорости при прохожденіи черезъ аллюминій въ 0,01 mm. толщиной [1]); 2) катодные лучи, ударяясь о препятствіе, даютъ начало лучамъ Рентгена; 3) лучи Рентгена, ударяясь о твердое препятствіе, производятъ, такъ называемые, *вторичные лучи*, въ которыхъ содержатся катодные лучи [2]).

Поэтому можно по аналогіи предвидѣть существованіе всѣхъ перечисленныхъ явленій для лучей радіоактивныхъ веществъ.

При изученіи прохожденія лучей полонія черезъ аллюминіевый экранъ, Беккерель, однако, не наблюдалъ ни появленія вторичныхъ лучей, ни превращенія ихъ въ лучи рода катодныхъ [3]).

Я пыталась сдѣлать наглядным измѣненіе лучей полонія, пользуясь методомъ промежуточныхъ экрановъ: два экрана E_1 и E_2, черезъ которые проходятъ лучи, расположены одинъ надъ другимъ; если проходъ черезъ эти экраны не измѣняетъ лучей, то порядокъ, въ которомъ лучи должны проникнуть черезъ нихъ, совершенно безразличенъ. Если, напротивъ, каждый экранъ измѣняетъ лучи, пропуская ихъ че-

---

[1]) Des Coudres, Physik. Zeitschrift, novembre 1902.

[2]) Sagnac, Thèse de doctorat.—Curie et Sagnac, Comptes rendus, avril 1900.

[3]) Becquerel, Rapports au Congrès de Physique, 1900.

резъ себя, то порядокъ экрановъ не безразличенъ. Если, напр., лучи при прохожденіи черезъ свинецъ измѣняются въ лучи, болѣе поглощаемые, и если аллюминій не производитъ дѣйствія того же рода и съ той же силой, то система свинецъ—аллюминій будетъ казаться болѣе непроницаемой, чѣмъ система аллюминій — свинецъ, что, напр., и наблюдается для лучей Рентгена.

Мои опыты показываютъ, что это явленіе происходитъ и съ лучами полонія. Приборъ, который я для этого употребляла, изображенъ на фиг. 8. Полоній былъ положенъ въ коробку СССС и поглощающіе экраны—по необходимости очень тонкіе, клались на металлическую пластинку Т.

Употреблявшіеся экраны.	Толщина въ mm.	Наблюдавшійся токъ.
Аллюминій	0,01	17,9
Латунь	0,005	
Латунь	0,005	6,7
Аллюминій	0,01	
Аллюминій	0,01	150
Олово	0,005	
Олово	0,005	125
Аллюминій	0,01	
Олово	0,005	13,9
Латунь	0,005	
Латунь	0,005	4,4
Олово	0,005	

Полученные результаты доказываютъ, что, при прохожденіи черезъ твердые экраны, лучеиспусканіе измѣняется. Это заключеніе согласуется съ опытами, въ которыхъ изъ двухъ тождественныхъ и расположенныхъ одна надъ другой металлическихъ пластинокъ первая оказывается менѣе поглощающею, чѣмъ вторая. Вѣроятно, поэтому измѣняющее дѣйствіе экрана тѣмъ болѣе сильно, чѣмъ онъ дальше отъ источника. Это не было провѣрено и природа измѣненія превращенія не была еще изучена подробно.

Я повторила тѣ же опыты съ солью радія очень активнаго. Результатъ былъ отрицательный. Я наблюдала только незначительныя измѣненія въ интенсивности прошедшаго лучеиспусканія, когда перемѣнялся порядокъ экрановъ. Системы употреблявшихся экрановъ были слѣдующія:

	mm.		mm.
Аллюминій, толщиною	0,55	Платина, толщиною	0,01
„ „	0,55	Свинецъ „	0,1
„ „	0,55	Олово „	0,005
„ „	1,07	Мѣдь „	0,05
„ „	0,55	Латунь „	0,005
„ „	1,07	Латунь „	0,005
„ „	0,15	Платина „	0,01
„ „	0,15	Цинкъ „	0,05
„ „	0,15	Свинецъ „	0,1

Система свинецъ-аллюминій оказалась только слегка болѣе непроницаемой, чѣмъ аллюминій-свинецъ, но эта разница небольшая.

Я не могла показать всю очевидность значительнаго измѣненія лучей радія. Однако, Беккерель въ различныхъ радіографическихъ опытахъ наблюдалъ очень сильное дѣйствіе диффузныхъ или вторичныхъ лучей, испускаемыхъ твердыми экранами, которые принимали лучи радія. Наиболѣе активнымъ веществомъ, съ точки зрѣнія испускаемыхъ вторичныхъ лучей, былъ свинецъ.

Іонизирующее дѣйствіе лучей радія на жидкіе изоляторы. — Кюри показалъ, что лучи радія и лучи Рентгена дѣйствуютъ на жидкіе діэлектрики такъ же, какъ и на воздухъ, сообщая имъ нѣкоторую электропроводность [1]).

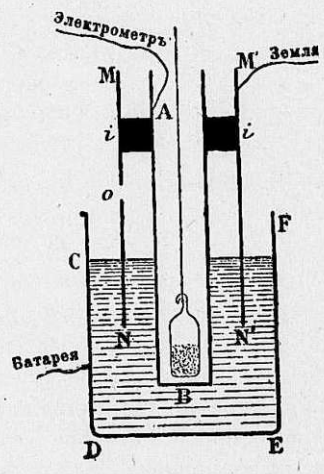
Вотъ какъ былъ расположенъ опытъ (фиг. 9).

Испытуемая жидкость была помѣщена въ металлическій сосудъ CDEF, въ который опущена мѣдная тонкая трубка AB. Эти двѣ металлическія части служатъ электродами. Сосудъ удерживается при нѣкоторомъ извѣстномъ потенціалѣ посредствомъ батареи маленькихъ аккумуляторовъ, одинъ полюсъ которой соединенъ съ землей. Трубка AB соединена съ электрометромъ. Когда токъ проходитъ черезъ жидкость, электрометръ удерживаютъ на нулѣ съ помощью пьезо-электрическаго кварца, который служитъ для измѣренія силы тока. Мѣдная трубка M N M′ N′, соединенная съ землей, служитъ, какъ предохранительная трубка, чтобы избѣжать прохожденія тока черезъ воздухъ. Пузырекъ, содержащій радіоносную соль барія, можетъ быть помѣщенъ на дно трубки

[1]) P. Curie, Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 17 février 1902.

AB. Лучи дѣйствуютъ на жидкость послѣ того, какъ они прошли стекло пузырька и стѣнку металлической трубки. Можно

Фиг. 9.



еще дѣйствовать радіемъ, помѣщая пузырекъ снизу стѣнки DE.

При дѣйствіи лучами Рентгена, эти лучи должны пройти черезъ стѣнку DE.

Увеличеніе электропроводности подъ дѣйствіемъ лучей радія или лучей Рентгена, кажется, происходитъ для всѣхъ діэлектрическихъ жидкостей; но, для того, чтобы замѣтить это увеличеніе, необходимо, чтобы собственная электропроводность жидкости была довольно мала, чтобы дѣйствіе этихъ лучей не было замаскировано.

Производя опыты съ радіемъ и лучами Рентгена, г. Кюри получалъ почти одинаковые результаты.

Когда изучаютъ электропроводность воздуха или другого газа при томъ же расположеніи опыта подъ дѣйствіемъ лучей Беккереля, то находятъ, что сила получающагося тока пропорціональна разности потенціаловъ между электродами до тѣхъ поръ, пока она не превышаетъ нѣсколькихъ вольтъ; но для напряженій болѣе высокихъ сила тока растетъ все меньше и меньше, и предѣльный токъ явно наступаетъ при напряженіи около 100 вольтъ.

Жидкости, изученныя при помощи того же самаго прибора и съ однимъ и тѣмъ же очень активнымъ веществомъ,

ведутъ себя очень различно; сила тока пропорціональна напряженію, когда оно измѣняется отъ нуля до 450 вольтъ, и это даже тогда, когда разстояніе между электродами не превосходитъ 6 mm. Необходимо разсматривать электропроводность различныхъ жидкостей, подъ вліяніемъ лучеиспусканія соли радія, при одинаковыхъ условіяхъ опыта.

Числа слѣдующей таблицы, умноженныя на 10^{-14}, даютъ проводимость для 1 см.^{3} въ практическихъ единицахъ (величина обратная удѣльному сопротивленію, выраженному въ омахъ).

Сѣрнистый углеродъ	20
Нефтяной эфиръ	15
Амиленъ	14
Хлористый углеродъ	8
Бензолъ	4
Жидкій воздухъ	1,3
Вазелиновое масло	1,6

Можно предположить, однако, что жидкости и газы въ этомъ отношеніи подобны между собою, но что для жидкостей сила тока остается пропорціональна напряженію до болѣе высокаго предѣла, чѣмъ для газовъ. Можно, по аналогіи съ тѣмъ, что происходитъ для газовъ, стараться понизить предѣлъ пропорціональности, употребляя лучеиспусканіе гораздо болѣе слабое. Опытъ подтвердилъ это предположеніе. Было взято радіоактивное вещество въ 150 разъ менѣе активное, чѣмъ то, которое служило для первыхъ опытовъ. Для напряженія въ 50, 100, 200, 400 вольтъ — соотвѣтственно силы тока выразились числами 109, 185, 255, 355. Пропорціональность болѣе не удерживается, но сила тока еще сильно измѣняется, если удвоить разность потенціаловъ.

Нѣкоторыя жидкости можно разсматривать почти какъ идеальные изоляторы, когда ихъ удерживаютъ при постоянной температурѣ и когда на нихъ не дѣйствуютъ лучи.

Вотъ эти жидкости: жидкій воздухъ, нефтяной эфиръ, вазелиновое масло, амиленъ. Съ этими жидкостями легко изучить дѣйствіе лучей. Вазелиновое масло гораздо менѣе чувствительно къ дѣйствію лучей, чѣмъ нефтяной эфиръ. Этотъ фактъ нужно разсматривать въ связи съ разницею въ летучести, существующей между этими двумя углеводородами. Жидкій воздухъ, который уже нѣкоторое время кипѣлъ въ

сосудѣ, при опытахъ оказывается болѣе чувствительнымъ къ дѣйствію лучей, чѣмъ тотъ, который только что туда влитъ; проводимость подъ дѣйствіемъ лучей на 25 % больше въ первомъ случаѣ. Кюри изучалъ на амиленѣ и нефтяномъ эфирѣ дѣйствіе лучей при температурѣ отъ $+10^0$ до -17^0. Проводимость подъ вліяніемъ лученспусканія уменьшилась только на $^1/_{10}$ своей величины, когда переходили отъ $+10^0$ до -17^0.

Въ опытахъ, при которыхъ измѣнялась температура жидкости, радій можно было удерживать или при температурѣ окружающаго воздуха или довести его до температуры жидкости. Результаты въ обоихъ случаяхъ одинаковы. Это зависитъ отъ того, что лученспусканіе радія не измѣняется съ температурою и сохраняетъ еще ту же самую величину даже при температурѣ жидкаго воздуха. Этотъ фактъ былъ провѣренъ непосредственнымъ измѣреніемъ.

Различныя дѣйствія и приложенія іонизирующаго дѣйствія лучей, испускаемыхъ радіоактивными веществами. — Лучи новыхъ радіоактивныхъ веществъ сильно іонизируютъ воздухъ. Дѣйствіемъ радія можно вызвать легко конденсацію насыщенныхъ паровъ воды совершенно такъ же, какъ дѣйствіемъ катодныхъ лучей и лучей Рентгена.

Подъ дѣйствіемъ лучей, испускаемыхъ радіоактивными веществами, разстояніе для электрической искры между двумя металлическими проводниками, при той же разности потенціаловъ, увеличивается. Другими словами, прохожденіе искры облегчается дѣйствіемъ лучей. Это явленіе обусловлено дѣйствіемъ болѣе проникающихъ лучей. Дѣйствительно, если окружить радій свинцовой оболочкой въ 2 см. толщины, дѣйствіе радія на искру незначительно ослаблено, такъ какъ лученспусканіе, которое проходитъ, составляетъ только небольшую часть всего лученспусканія.

Подъ дѣйствіемъ радіоактивныхъ веществъ, воздухъ, сосѣдній съ двумя металлическими проводниками, изъ которыхъ одинъ соединенъ съ землей, а другой съ хорошо изолированнымъ электрометромъ, становится проводникомъ и электрометръ обнаруживаетъ постоянное отклоненіе, которое позволяетъ измѣрять электродвижущую силу электрической пары, состоящей изъ воздуха и двухъ металловъ (электродвижущая сила контакта двухъ металловъ, когда

они раздѣлены воздухомъ). Этотъ методъ измѣренія былъ употребленъ лордомъ Кельвиномъ и его учениками; радіоактивнымъ веществомъ былъ уранъ [1]). Еще раньше аналогичный способъ употреблялъ Перренъ, изучая дѣйствіе іонизаціи лучами Рентгена [2]).

Радіоактивныя вещества также можно употребить при изученіи атмосфернаго электричества. Активное вещество помѣщаютъ въ маленькую коробку изъ тонкаго аллюминія, укрѣпленную на концѣ металлическаго стержня, соединеннаго съ электрометромъ. Воздухъ въ сосѣдствѣ съ концомъ стержня становится проводникомъ и поэтому стержень принимаетъ потенціалъ окружающаго воздуха.

Радій, такимъ образомъ, съ успѣхомъ замѣняетъ пламя или приборы лорда Кельвина съ истеченіемъ воды, употреблявшіеся обыкновенно до сихъ поръ при изученіи атмосфернаго электричества [3]).

Возбужденіе флуоресценціи и явленія свѣченія. — Лучи, испускаемые новыми радіоактивными веществами, вызываютъ флуоресценцію нѣкоторыхъ тѣлъ. Кюри и я сначала открыли это явленіе, заставляя дѣйствовать полоній сквозь тонкій аллюминіевый листокъ на слой платино-синеродистаго барія. Тѣ же самые опыты удаются еще болѣе легко съ достаточно сильнымъ радіоноснымъ баріемъ. Когда вещество сильно радіоактивно, получается очень красивая флуоресценція.

Подъ дѣйствіемъ лучей Беккереля многія вещества становятся фосфоресцирующими или флуоресцирующими. Беккерель изучалъ дѣйствіе лучей на алмазъ, цинковую обманку, соли урана и проч. Бари показалъ, что соли щелочныхъ и щелочно-земельныхъ металловъ, которыя флуоресцируютъ подъ дѣйствіемъ лучей свѣта и лучей Рентгена, также флуоресцируютъ и подъ дѣйствіемъ солей радія [4]).

Равнымъ образомъ, можно замѣтить флуоресценцію бумаги, стекла, хлопка и другихъ предметовъ, помѣщенныхъ по сосѣдству съ радіемъ. Между различными сортами стек-

---

[1]) Lord Kelvin, Beattie et Smolan, Nature, 1897.

[2]) Perrin, Thèse de doctorat.

[3]) Paulsen, Rapports au Congrès de Physique, 1900 — Vitkovski, Bulletin de l'Académie des Sciences de Cracovie, janvier 1902.

[4]) Bary, Comptes rendus, t. CXXX, 1900, p. 776.

ла, Тюрингенское стекло особенно хорошо свѣтится; металлы, кажется, не становятся свѣтящимися.

Платино-синеродистый барій подходитъ лучше всего для изученія лучеиспусканія радіоактивныхъ тѣлъ по флуороскопическому методу. Можно слѣдить за дѣйствіемъ лучей радія на разстояніи свыше 2 m. Сѣрнокислый цинкъ чрезвычайно сильно свѣтится, но это тѣло имѣетъ тотъ недостатокъ, что его свѣченіе остается нѣкоторое время послѣ прекращенія дѣйствія на него лучей.

Флуоресценцію, производимую радіемъ, можно наблюдать также и тогда, когда флуоресцирующій экранъ отдѣленъ отъ радія поглощающими экранами.

Мы могли наблюдать свѣченіе экрана, покрытаго платино-синеродистымъ баріемъ, сквозь человѣческое тѣло. Однако, дѣйствіе несравненно болѣе сильно, когда экранъ помѣщенъ непосредственно около радія, чѣмъ тогда, когда онъ отдѣленъ отъ него какимъ-либо твердымъ экраномъ. Кажется, всѣ группы лучей способны производить флуоресценцію.

Для наблюденія дѣйствія полонія необходимо его ставить непосредственно около самаго флуоресцирующаго экрана, безъ промежуточнаго твердаго экрана, или, по крайней мѣрѣ, промежуточный экранъ долженъ быть очень тонкій.

Способность свѣченія флуоресцирующихъ веществъ, подверженныхъ дѣйствію радіоактивныхъ тѣлъ, понижается съ теченіемъ времени. Въ то же самое время флуоресцирующія вещества подвергаются измѣненіямъ. Вотъ нѣсколько примѣровъ:

Лучи радія измѣняютъ платино-синеродистый барій въ нѣкоторую разновидность коричневаго цвѣта, менѣе свѣтящуюся (дѣйствіе аналогично тому, которое производится лучами Рентгена и описано Вилларомъ).

Лучи радія измѣняютъ также двойную сѣрнокислую соль урана и калія, заставляя ее желтѣть.

Измѣненный платино-синеродистый барій отчасти возстановляется подъ дѣйствіемъ свѣта. Положимъ радій подъ слой платино-синеродистаго барія, нанесеннаго на бумагу,—соль барія начинаетъ свѣтиться. Если этотъ свѣтящійся экранъ сохранять въ темнотѣ, платино-синеродистая соль измѣняется и ея свѣченіе значительно понижается.

Но подвергнемъ все дѣйствію свѣта: платино-синеродистая соль отчасти возстановляется и если все перенести въ темноту, то свѣченіе снова дѣлается достаточно сильнымъ. Итакъ, посредствомъ флуоресцирующаго тѣла и тѣла радіоактивнаго, осуществляется система, которая дѣйствуетъ, какъ фосфоресцирующее тѣло съ продолжительной флуоресценціей.

Стекло, которое флуоресцировало отъ радія, окрашивается въ коричневый или фіолетовый цвѣтъ. Въ то же время оно становится менѣе флуоресцирующимъ. Если нагрѣвать измѣненное такимъ образомъ стекло, оно обезцвѣчивается и, въ то время, когда происходитъ это обезцвѣчиваніе, стекло испускаетъ свѣтъ. Послѣ этого стекло снова пріобрѣтаетъ свойство быть флуоресцирующимъ въ той же степени, какъ и до измѣненія.

Сѣрнокислый цинкъ, подвергнутый дѣйствію радія въ продолженіе достаточнаго времени, истощается мало по малу и теряетъ способность фосфоресцировать какъ подъ дѣйствіемъ радія, такъ и подъ дѣйствіемъ свѣта.

Алмазъ становится фосфоресцирующимъ подъ дѣйствіемъ радія и, такимъ образомъ, можетъ быть отличенъ отъ поддѣльныхъ алмазовъ, свѣченіе которыхъ очень слабо.

Всѣ соединенія барія, заключающія радій, *самопроизвольно свѣтятся* [1]).

Галоидныя соли, безводныя и сухія, испускаютъ особенно сильный свѣтъ. Это свѣченіе не можетъ быть замѣтно при полномъ дневномъ свѣтѣ, но его легко можно видѣть въ полутемнотѣ или въ комнатѣ, освѣщенной газомъ. Испускаемый свѣтъ, съ небольшимъ количествомъ дѣйствующаго вещества, можетъ быть достаточно сильнымъ, чтобы при этомъ освѣщеніи можно было въ темнотѣ читать; при этомъ свѣтъ исходитъ изъ всей массы продукта, между тѣмъ, какъ въ обыкновенномъ фосфоресцирующемъ веществѣ свѣтъ испускается изъ той части поверхности, которая была освѣщена. На сыромъ воздухѣ продукты, заключающіе радій, теряютъ по большей части свое свѣченіе, но вновь его пріобрѣтаютъ послѣ высушиванія (Гизель). Свѣченіе, повидимому, сохраняется. Черезъ нѣсколько лѣтъ никакого замѣтнаго измѣне-

---

[1]) Curie, Société de Physique, 3 mars 1899. — Giesel, Wied. Ann., t. LXIX p. 91.

нія въ свѣченіи, повидимому, не происходитъ для слабо активныхъ продуктовъ, сохраненныхъ въ закупоренныхъ трубкахъ въ темнотѣ. Очень активный хлористый барій, заключающій радій, измѣняетъ оттѣнокъ свѣта; черезъ нѣсколько мѣсяцевъ онъ дѣлается болѣе фіолетовымъ и значительно ослабляется; въ то же время продуктъ претерпѣваетъ нѣкоторыя измѣненія; растворяя вновь соль въ водѣ и снова высушивая ее, получаютъ первоначальное свѣченіе.

Растворы солей радіоноснаго барія, съ значительнымъ содержаніемъ радія, также свѣтятся. Это можно наблюдать, вливая растворъ въ платиновую чашечку, которая сама по себѣ не свѣтится, но позволяетъ замѣтить слабое свѣченіе раствора.

Когда растворъ соли радіоноснаго барія содержитъ отложившіеся кристаллы, то эти кристаллы свѣтятся внутри раствора и при этомъ они болѣе ярки, чѣмъ самъ растворъ, такъ что они одни кажутся свѣтящимися.

Гизель приготовилъ платино-синеродистый радіоносный барій. Когда эта соль только что выкристаллизовалась, она имѣла видъ обыкновеннаго платино-синеродистаго барія и очень свѣтилась. Но, мало по малу, соль самопроизвольно окрашивается въ коричневый цвѣтъ и въ то же время кристаллы становятся дихроичными.

Въ этомъ состояніи соль менѣе свѣтится, хотя ея радіоактивность увеличилась [1]). Платино-синеродистый радій, приготовленный Гизелемъ, измѣняется еще гораздо быстрѣе.

Соединенія радія представляютъ первый примѣръ самопроизвольно свѣтящихся веществъ.

Выдѣленіе тепла солями радія. Совсѣмъ недавно г. Кюри и Лабордъ нашли, что *соли радія являются мѣстомъ непрерывнаго и самопроизвольнаго выдѣленія тепла* [2]). Это выдѣленіе тепла проявляется въ поддержаніи солями радія температуры болѣе высокой, чѣмъ температура окружающая. Избытокъ температуры зависитъ при этомъ отъ тепловой изоляціи вещества. Этотъ избытокъ температуры можно наглядно демонстрировать на очень грубомъ опытѣ съ помощью двухъ обыкновенныхъ ртутныхъ термометровъ. Берутъ два совершенно одинаковые, изолированные пустотою, сосуда *). Въ одинъ сосудъ кладутъ стеклянный пузырекъ, содержащій 7 дцг. чистаго бромистаго радія, въ другой сосудъ помѣщаютъ совершенно такой же стеклянный пузырекъ, содержащій неактивное вещество, напр. хлористый барій. Температура воздуха, содержащагося въ каждомъ сосудѣ, указывается термометромъ, ртутный резервуаръ котораго поставленъ въ непосредственномъ сосѣдствѣ съ пузырькомъ. Отверстія сосудовъ закрываются ватою. Когда наступило равновѣсіе температуръ, то термометръ, находящійся въ сосудѣ съ радіемъ, постоянно показываетъ высшую температуру по сравненію съ другимъ термометромъ. Наблюденный избытокъ температуры равенъ 3^0.

Можно вычислить количество тепла, выдѣленнаго солью радія съ помощью ледяного калориметра Бунзена. Положивъ въ этотъ калориметръ стеклянный пузырекъ съ солью радія, замѣчаютъ непрерывный притокъ тепла, который прекращается самъ собою, какъ только удаляютъ радій. Измѣреніе, сдѣланное съ солью радія, приготовленнаго уже давно, показываетъ, что каждый граммъ радія выдѣляетъ въ часъ около 80 малыхъ калорій. Такимъ образомъ, радій выдѣляетъ въ теченіе часа количество тепла, достаточное для расплавленія равнаго ему вѣса льда, а атомъ—граммъ радія (225 гр.) выдѣлилъ бы въ часъ 18000 калорій, т. е. такое количество тепла, которое выдѣляется при сожиганіи одного атома (1 гр.) водорода. Столь значительное выдѣленіе тепла не можетъ быть объяснено никакой обыкновенной химической реакціею, тѣмъ болѣе что, повидимому, радій остается въ неизмѣненномъ состояніи въ продолженіе нѣсколькихъ лѣтъ. Можно было подумать, что выдѣленіе тепла имѣетъ причину въ измѣненіи атома самого радія, которое по необходимости должно быть очень медленнымъ. Если-бы это было такъ, то можно было бы заключить, что количества энергіи, употребленныя на созданіе и преобразованіе атомовъ, весьма значительны и превосходятъ все, что намъ извѣстно до сихъ поръ.

---

[1]) Giesel, Wied. Ann., t. LXIX p. 91.

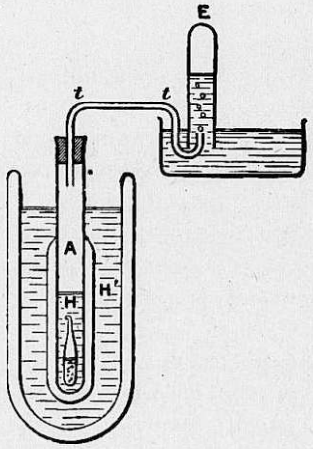
[2]) Curie et Laborde, Comptes rendus, 16 mars 1903.

*) Сосуды Дьюара, употребляющіеся для жидкаго воздуха.

Примѣч. переводчика.

Можно еще вычислить количества выдѣленнаго радіемъ тепла при различныхъ температурахъ, пользуясь для этого кипѣніемъ сжиженнаго газа и измѣряя объемъ газа, который при этомъ выдѣляется. Можно сдѣлать этотъ опытъ съ хлористымъ метиломъ ($t = 21^0$). Опытъ былъ произведенъ Деваромъ и Кюри съ жидкимъ кислородомъ ($t = 180^0$) и жидкимъ водородомъ ($t = 252$). Это послѣднее тѣло особенно хорошо подходитъ для осуществленія опыта. Пробирка A, окруженная изолирующею тепло пустотою, заключаетъ жидкій водородъ H (фиг. 10). Она снабжена отводящею трубкою t,

Фиг. 10.



которая позволяетъ снова собрать газъ въ градуированную пробирку E, наполненную водою. Пробирка A и ея изоляторъ погружены въ ванну жидкаго водорода H'. При этихъ условіяхъ никакого газоваго выдѣленія въ пробиркѣ A не происходитъ. Когда опускаютъ въ жидкій водородъ, находящійся въ этой пробиркѣ, пузырекъ, содержащій 7 дцгр. бромистаго радія, происходитъ непрерывное выдѣленіе газа и получается 73 кб. см. газа въ минуту.

Твердая соль радія, только что приготовленная, выдѣляетъ количество тепла относительно малое, но это выдѣленіе тепла увеличивается непрерывно и стремится къ опредѣленной величинѣ, которой не достигаетъ еще къ концу одного мѣсяца. Когда растворяютъ въ водѣ соль радія и

заключаютъ растворъ въ хорошо закрытую трубку,—количество выдѣленнаго растворомъ тепла сначала мало; потомъ оно увеличивается и стремится сдѣлаться постояннымъ въ концѣ мѣсяца; количество тепла и тогда то же самое, которое выдѣлялось изъ той же соли въ твердомъ состояніи. Когда измѣряютъ съ помощью калориметра Бунзена тепло, выдѣленное солью радія, содержащеюся въ стеклянномъ пузырькѣ, нѣкоторые проникающіе лучи радія проходятъ сквозь стекло пузырька и калориметръ, и при этомъ ими не поглощаются. Чтобы узнать, уносятъ-ли эти лучи замѣтное количество энергіи, можно снова произвести измѣреніе, окружая пузырекъ листомъ свинца, толщиною 2 mm. Находятъ, что въ этихъ условіяхъ выдѣленіе тепла увеличивается приблизительно на 4% его величины. Энергія, выдѣляемая радіемъ въ формѣ проникающихъ лучей, такимъ образомъ, далеко не ничтожна.

Химическія дѣйствія, производимыя новыми радіоактивными веществами. Окрашиваніе. — Лучеиспусканіе сильно активныхъ веществъ способно вызывать нѣкоторыя превращенія и нѣкоторыя химическія реакціи. Лучи, испускаемые радіоактивными веществами, производятъ окрашиваніе стекла и фарфора [1]).

Окрашиваніе стекла обыкновенно бываетъ коричневое или фіолетовое и при томъ очень сильное. Оно производится въ массѣ самого стекла и сохраняется послѣ удаленія радія. Всѣ сорта стеколъ окрашиваются въ болѣе или менѣе продолжительное время и присутствіе въ нихъ свинца не является обязательнымъ. Необходимо сблизить этотъ фактъ съ тѣмъ, что замѣчено недавно, а именно, съ явленіемъ окрашиванія въ пустотѣ стекла трубокъ лучами Рентгена послѣ долгаго употребленія.

Гизель показалъ, что кристаллическія галоидныя соли щелочныхъ металловъ (каменная соль, сильвинъ) окрашиваются подъ вліяніемъ радія, какъ и подъ дѣйствіемъ катодныхъ лучей. Гизель показалъ, что окрашиваніе такого же рода можно получить, оставляя нѣкоторое время щелочныя соли въ парахъ натрія [2]).

[1]) M. et Mme Curie, Comptes reudus, t. CXXIX, novembre 1899, p. 823.
[2]) Giesel, Soc. de Phys. allemande; janvier 1900.

Я изучала окрашиваніе коллекціи стеколъ извѣстнаго мнѣ состава, любезно предоставленныя для этого опыта Шателье. При этомъ я не наблюдала большой разницы въ окрашиваніи. Оно, обыкновенно, было фіолетовое, желтое, коричневое или сѣрое. Оно, кажется, связано съ присутствіемъ щелочныхъ металловъ.

Съ чистыми кристаллическими щелочными солями окрашиваніе получаютъ болѣе разнообразное и болѣе яркое. Соль, первоначально бѣлая, дѣлается голубою, зеленою, желтою, коричневою и т. д.

Беккерель показалъ, что бѣлый фосфоръ радіемъ превращается въ красный фосфоръ.

Бумага также измѣняется и окрашивается подъ дѣйствіемъ радія. Она становится хрупкою и, наконецъ, дѣлается похожею на рѣшето.

При нѣкоторыхъ условіяхъ, по сосѣдству съ весьма активными веществами замѣчается образованіе озона. Лучи, которые выходятъ изъ запаяннаго пузырька, содержащаго радій, не озонируютъ воздухъ, черезъ который они проходятъ. Напротивъ, сильный запахъ озона выдѣляется, когда открываютъ пузырекъ. Вообще, озонъ образуется, когда есть непосредственное соприкосновеніе между воздухомъ и радіемъ. Самаго тѣснаго канала совершенно достаточно для сообщенія между ними. Кажется, что образованіе озона связано съ распространеніемъ индуктированной радіоактивности, о которой будетъ рѣчь впереди.

Радіоактивныя соединенія измѣняются со временемъ, безъ сомнѣнія, подъ дѣйствіемъ ихъ собственнаго лучеиспусканія. Мы выше видѣли, что кристаллы хлористаго барія, содержащаго радій, которые въ моментъ ихъ осажденія безцвѣтны, принимаютъ, мало по малу, окрашиваніе, то желтое или оранжевое, то розовое; это окрашиваніе исчезаетъ при раствореніи. Хлористый барій, содержащій радій, выдѣляетъ окислы хлора, бромистый—брома. Эти медленныя измѣненія оканчиваются, вообще, спустя нѣкоторое время послѣ приготовленія твердаго вещества, которое въ то же время измѣняетъ видъ и цвѣтъ, принимая оттѣнокъ желтый или фіолетовый. Испускаемый свѣтъ становится также болѣе фіолетовымъ.

Соль чистаго радія, повидимому, испытываетъ такія же

измѣненія, какъ соли, содержащія барій. Однако, кристаллы хлористаго радія, осажденные въ кисломъ растворѣ, не окрашиваются такъ замѣтно въ продолженіе времени, которое достаточно для того, чтобы кристаллы хлористаго барія, богатые радіемъ, приняли сильное окрашиваніе.

Выдѣленіе газа въ присутствіи солей радія. — Растворъ бромистаго радія выдѣляетъ непрерывно газы [1]). Эти газы, главнымъ образомъ, суть водородъ и кислородъ и составъ ихъ смѣси близокъ къ составу воды; можно допустить, что происходитъ разложеніе воды въ присутствіи соли радія.

Твердыя соли радія (хлористыя, бромистыя) также непрерывно выдѣляютъ газы. Эти газы наполняютъ поры твердой соли и выдѣляются довольно обильно, когда растворяютъ соль.

Въ смѣси газовъ находятъ водородъ, кислородъ, углекислоту и гелій; спектръ этихъ газовъ имѣетъ также нѣсколько неизвѣстныхъ новыхъ линій [2]).

Этому выдѣленію газовъ можно приписать два случая, происшедшіе въ опытахъ г. Кюри. Стеклянная, запаянная, тонкостѣнная трубочка была наполнена почти совершенно твердымъ, сухимъ бромистымъ радіемъ; спустя 2 мѣсяца послѣ ея закрытія, подъ дѣйствіемъ слабаго нагрѣванія трубочка разорвалась. Взрывъ былъ, вѣроятно, произведенъ внутреннимъ давленіемъ газа. Въ другомъ опытѣ, трубочка, содержащая хлористый радій, приготовленный задолго передъ тѣмъ, сообщалась съ довольно большимъ по объему резервуаромъ, въ которомъ было произведено весьма сильное разрѣженіе воздуха. Трубочка была подвержена довольно быстрому нагрѣванію до 300°, при этомъ соль произвела взрывъ; трубочка рабивалась и соль была разбросана. Это не иначе могло случиться, какъ благодаря значительному давленію въ трубкѣ въ моментъ взрыва. Приборъ затѣмъ подвергался въ тѣхъ-же самыхъ условіяхъ такому-же нагрѣванію въ отсутствіи соли радія и никакого явленія не происходило.

Эти опыты показываютъ, что долго лежавшую послѣ

---

[1]) Giesel, Ber., 1903, p. 347. — Ramsay et Soddy, Phys. Zeitschr., 15 septembre 1903.

[2]) Ramsay et Soddy, loc. cit.

приготовленія соль радія опасно нагрѣвать, а также опасно надолго оставлять ее въ запаянной трубкѣ.

Возбужденіе термолюминисценціи. — Нѣкоторыя тѣла, напримѣръ, плавиковый шпатъ, дѣлаются свѣтящимися, когда ихъ начинаютъ нагрѣвать, это явленіе называется термолюминисценціей. Ихъ способность свѣтиться пропадаетъ черезъ нѣсколько времени, но способность снова сдѣлаться свѣтящимися отъ тепла возвращается этимъ тѣламъ дѣйствіемъ искры, а также и дѣйствіемъ радія. Итакъ, радій можетъ возвратить этимъ тѣламъ ихъ свойства люминисценціи [1]). Во время нагрѣванія плавиковый шпатъ испытываетъ превращеніе, которое сопровождается свѣченіемъ. Когда затѣмъ плавиковый шпатъ подвергнуть дѣйствію радія, превращеніе идетъ въ обратномъ направленіи и опять сопровождается свѣченіемъ.

Совершенно аналогичное явленіе происходитъ въ стеклѣ, подвергнутомъ дѣйствію лучей радія, оно свѣтится и въ это время испытываетъ превращенія. Объ этихъ превращеніяхъ можно судить по окрашиванію, которое появляется и постепенно усиливается. Когда затѣмъ измѣненное такимъ образомъ стекло нагрѣваютъ, происходитъ обратное превращеніе— окрашиваніе исчезаетъ и это явленіе сопровождается свѣченіемъ.

Наиболѣе вѣроятнымъ кажется, что здѣсь происходитъ какое то измѣненіе въ химической природѣ и образованіе свѣта связано съ этимъ измѣненіемъ. Можетъ быть, это явленіе имѣетъ болѣе общее значеніе и слѣдуетъ допустить, что возбужденіе флуоресценціи подъ дѣйствіемъ радія и способность радіоактивныхъ веществъ свѣтиться необходимо связаны съ явленіемъ физическаго или химическаго превращенія вещества, испускающаго свѣтъ.

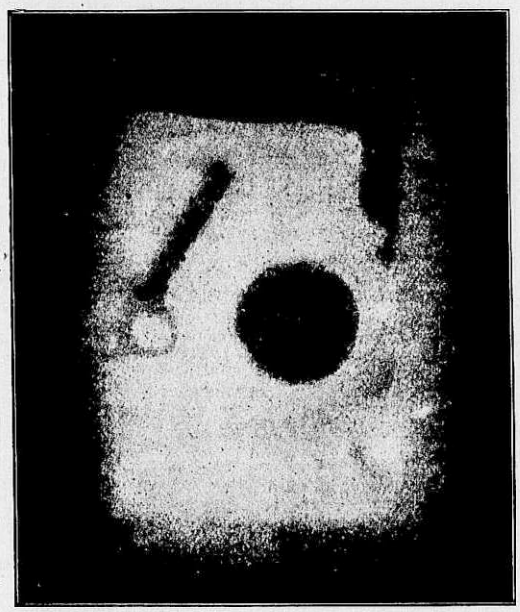
Радіографія. — Радіографическое дѣйствіе новыхъ радіоактивныхъ веществъ очень сильно. Однако, способы производства опытовъ съ радіемъ и полоніемъ должны быть весьма различны. Полоній дѣйствуетъ только на очень маломъ разстояніи и его дѣйствіе значительно ослабляется твердыми экранами. Оно практически легко уничтожается уже

[1]) Becquerel, Rapports au Congrès de Physique, 1900.

съ помощью довольно тонкаго стекляннаго экрана (1 mm.). Радій же дѣйствуетъ на разстояніи значительно большемъ. Радіографическое дѣйствіе лучей его замѣчается въ воздухѣ на разстояніи болѣе 2 m. и это даже тогда, когда радіоактивное вещество заключено въ стеклянный пузырекъ.

Лучи, которые дѣйствуютъ при этихъ условіяхъ, при-

(Фиг. 11).



надлежатъ къ группамъ β и γ. Благодаря значительной разницѣ въ прозрачности различныхъ веществъ для этихъ лучей, можно, такъ-же, какъ съ лучами Рентгена, получать фотографическіе снимки различныхъ предметовъ. Металлы, вообще, непрозрачны, за исключеніемъ аллюминія, который очень прозраченъ. Замѣтной разницы въ прозрачности костей и тѣла не наблюдается. Радіографіи получаются очень отчетливо, если дѣйствовать съ источникомъ весьма малыхъ размѣровъ съ большого разстоянія. Для чистоты радіографическихъ снимковъ выгодно лучи β отклонить въ сторону посредствомъ магнита и пользоваться только лучами γ.

Лучи β, проходя сквозь радіографируемые предметы, испытываютъ нѣкоторое разсѣяніе и производятъ поэтому неясность отпечатковъ. Удаляя лучи β, необходимо дѣлать болѣе продолжительную экспозицію и результаты получаются лучше. Радіографія такихъ вещей, какъ, напр., портмонэ, требуетъ день, при употребленіи, въ качествѣ радіоактивнаго источника, нѣсколькихъ центиграммъ соли радія, заключенной въ стеклянный пузырекъ, поставленный на разстояніи 1 m. отъ чувствительной пластинки, передъ которой находится предметъ. Если источникъ находится на разстояніи 20 см. отъ пластинки, тотъ же результатъ получается черезъ часъ. При непосредственномъ же сосѣдствѣ съ радіоактивнымъ источникомъ, чувствительная пластинка мгновенно подвергается дѣйствію.

Физіологическое дѣйствіе.—Лучи радія производятъ дѣйствіе на кожу. Это дѣйствіе было замѣчено Валькофомъ [1]) и подтверждено Гизелемъ, потомъ Беккерелемъ и Кюри.

Если поставить на кожу целлулоидную или тонкую каучуковую капсульку, заключающую соль радія, очень активнаго, и оставить тамъ ее въ продолженіе нѣкотораго времени, то образуется краснота на кожѣ, или сразу, или черезъ нѣкоторое время, тѣмъ позднѣе, чѣмъ дѣйствіе было слабѣе и короче. Это красное пятно получается на мѣстѣ, которое было подвержено дѣйствію; мѣстное поврежденіе кожи обнаруживается и развивается какъ ожогъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ образуется пузырь. Если дѣйствіе было продолжительно,—образуется изъязвленіе, которое очень трудно излѣчить. Въ одномъ изъ своихъ опытовъ г. Кюри заставилъ дѣйствовать на свою руку относительно мало активное вещество въ продолженіе 10-ти часовъ. Краснота обнаружилась сейчасъ же и позднѣе образовалась рана, на излѣченіе которой потребовалось 4 мѣсяца. Кожа была повреждена мѣстно и пришла въ нормальное состояніе, оставивъ очень замѣтный шрамъ. Ожогъ, полученный при получасовомъ дѣйствіи радія, обнаружился черезъ 15 дней, образовался пузырь, который зажилъ въ 15 дней. Другой ожогъ, вызванный только 8-минутнымъ дѣйствіемъ радія, причинилъ красное пятно, которое показалось только черезъ 2 мѣсяца безъ замѣтныхъ послѣдствій.

[1]) Walkhoff, Phot. Rundschau, octobre 1900. — Giesel, Berichte d. deutsch. chem. Gesell., t. XXIII.—Becquerel et Curie, Comptes rendus, t. CXXXII, p. 1289.

Радій дѣйствуетъ на кожу и сквозь металлы, но значительно слабѣе. Для того, чтобъ предохранить себя отъ дѣйствія радія, нужно избѣгать хранить его долгое время при себѣ, или же, въ противномъ случаѣ, необходимо его заключать въ свинцовую оболочку.

Дѣйствіе радія на кожу было изучено Данлосомъ въ госпиталѣ С.-Луи — какъ способъ лѣченія нѣкоторыхъ болѣзней кожи, сходный съ лѣченіемъ при помощи ультрафіолетовыхъ и Рентгеновыхъ лучей. Съ этой точки зрѣнія, радій даетъ утѣшительные результаты; кожа, отчасти разрушенная подъ дѣйствіемъ радія, становится совершенно здоровой.

Дѣйствіе радія болѣе глубоко, чѣмъ дѣйствіе свѣта и употребленіе его легче, чѣмъ употребленіе свѣта или лучей Рентгена. Изученіе условій примѣненія по необходимости мало продолжительно, потому что нельзя отдать себѣ отчета въ сущности производимаго дѣйствія.

Гизель замѣтилъ дѣйствіе радія на листья растеній. Подвергнутые дѣйствію листья желтѣютъ и вянутъ.

Гизель также открылъ дѣйствіе лучей радія на глазъ [1]). Когда помѣщаютъ въ темнотѣ радіоактивное вещество, по сосѣдству съ закрытымъ вѣкомъ или у виска, то получаютъ ощущеніе свѣта, которое наполняетъ глазъ. Это явленіе было изучено Гимштедтомъ и Нагелемъ [2]). Эти физики показали, что всѣ жидкости глаза флуоресцируютъ подъ дѣйствіемъ радія, чѣмъ и объясняется явленіе ощущенія свѣта. Слѣпые, у которыхъ сѣтчатыя оболочки цѣлы — неповреждены, чувствительны къ дѣйствію радія, между тѣмъ, какъ тѣ, у которыхъ сѣтчатая оболочка больна, не испытываютъ свѣтового ощущенія отъ дѣйствія лучей.

Лучи радія прекращаютъ или замедляютъ развитіе микробовъ, но это дѣйствіе не очень сильно [3]).

Недавно Данизцъ показалъ, что лучи радія энергично дѣй-

[1]) Giesel, Naturforscherersammlung, München, 1899.
[2]) Himstedt et Nagel, Ann. der Physik, t. IV, 1901.
[3]) Aschkinass et Caspari, Ann. der Physik, t. VI, 1901, p. 570.

ствуютъ на головной и костный мозгъ. Послѣ часового дѣйствія у животныхъ, подвергнутыхъ опыту, появился параличъ и они умирали черезъ нѣсколько дней [1]).

Дѣйствіе температуры на лучеиспусканіе. Какъ измѣняется лучеиспусканіе радіоактивныхъ тѣлъ съ температурою—еще пока извѣстно мало. Однако, мы знаемъ, что лучеиспусканіе существуетъ при низкихъ температурахъ. Кюри помѣщалъ въ жидкій воздухъ стеклянную трубку съ радіоноснымъ хлористымъ баріемъ [2]). Способность свѣтиться при этихъ условіяхъ сохранялась. Въ моментъ, когда вынимаютъ трубку изъ холоднаго пространства, она кажется даже болѣе свѣтлой, чѣмъ при окружающей температурѣ.

При температурѣ жидкаго воздуха, радій продолжаетъ возбуждать флуоресценцію сѣрнокислой соли уранила и калія. Кюри провѣрилъ электрическимъ методомъ, что лучеиспусканіе, измѣренное на нѣкоторомъ разстояніи отъ радіоактивнаго источника, имѣетъ ту же силу, находится-ли радій при температурѣ окружающей среды или имѣетъ температуру жидкаго воздуха. Въ этомъ опытѣ радій былъ положенъ на дно трубки, закрытой съ одного конца. Лучи выходили изъ трубки черезъ другой конецъ, проходили нѣкоторое пространство воздуха и распространялись въ конденсаторѣ. Измѣряли дѣйствіе лучей на воздухъ между пластинками конденсатора, или оставляя трубку въ воздухѣ, или опуская ее въ жидкій воздухъ до нѣкоторой высоты.

Полученный результатъ былъ одинъ и тотъ же въ обоихъ случаяхъ.

Когда переносятъ радій въ пространство, имѣющее высокую температуру, радіоактивность его не исчезаетъ. Радіоносный хлористый барій, только что расплавленный при 800°,— радіоактивенъ и свѣтится. Однако, продолжительное нагрѣваніе при высокой температурѣ временно понижаетъ радіоактивность вещества. Это пониженіе очень значительно, оно можетъ составлять 75% всего лучеиспусканія. Относительное пониженіе радіоактивности менѣе для лучей поглощаемыхъ, чѣмъ для лучей проникающихъ, которые замѣтно

[1]) Danysz, Comptes rendus, 16 février 1903.

[2]) Curie, Société de Physique, 2 mars 1900.

ослабѣваютъ отъ нагрѣванія. Современемъ интенсивность и относительный составъ лучеиспусканія вещества возстановляются. Этотъ результатъ достигается черезъ 2 мѣсяца послѣ нагрѣванія.

Глава IV.

Индуктированная радіоактивность.

Сообщеніе радіоактивности веществамъ первоначально неактивнымъ. — Во время нашихъ изслѣдованій радіоактивныхъ веществъ, г. Кюри и я замѣтили, что всѣ вещества, которыя оставались въ продолженіе нѣкотораго времени по сосѣдству съ радіоносной солью, становятся сами радіоактивными [1]). Въ нашемъ первомъ сообщеніи по этому предмету мы старались доказать, что радіоактивность, пріобрѣтенная первоначально неактивными веществами, не производится только-что перенесенной на поверхность этихъ веществъ радіоактивной пылью. Этотъ фактъ теперь совершенно достовѣренъ, онъ доказывается съ полною очевидностью совокупностью опытовъ, которые будутъ здѣсь описаны, и въ особенности законами, по которымъ радіоактивность, вызванная въ веществахъ, по природѣ неактивныхъ, исчезаетъ съ прекращеніемъ дѣйствія на нихъ радія.

Это новое явленіе мы назвали *индуктированной радіоактивностью.*

Въ томъ же сообщеніи мы указали главнѣйшія характерныя особенности индуктированной радіоактивности. Мы сообщали активность пластинкамъ различныхъ веществъ, помѣщая ихъ по сосѣдству съ твердой радіоносной солью, и изучали радіоактивность по электрическому методу. Мы наблюдали слѣдующіе факты:

1) Активность пластинки, подвергнутой дѣйствію радія, увеличивается съ продолжительностью этого дѣйствія, приближаясь ассимптотически къ нѣкоторому опредѣленному предѣлу.

2) Активность пластинки, полученная подъ дѣйствіемъ радія, послѣ прекращенія этого дѣйствія исчезаетъ въ нѣсколько дней. Эта индуктированнаяактивность съ теченіемъ времени приближается къ нулю ассимптотически.

[1]) M. et M-me Curie, Comptes rendus, 6 novembre 1899.

3) При этомъ въ равныхъ условіяхъ индуктированная радіоактивность, возбужденная однимъ и тѣмъ-же радіоноснымъ веществомъ въ различныхъ пластинкахъ, не зависитъ отъ вещества пластинки. Стекло, бумага, металлы получаютъ активность одинаковой интенсивности.

4) Индуктированная радіоактивность для одной и той же пластинки, произведенная различными веществами, содержащими радій, имѣетъ тѣмъ болѣе высокую предѣльную величину, чѣмъ активнѣе было дѣйствующее вещество.

Спустя немного, Рузерфордъ опубликовалъ работу, изъ которой слѣдуетъ, что соединенія торія способны производить явленія индуктированной радіоактивности [1]). Рузерфордъ нашелъ для этого явленія тѣ же самые законы, которые только что изложены; кромѣ этого важнаго факта, онъ открылъ, что тѣла, отрицательно заряженныя, получаютъ активность большей интенсивности, чѣмъ другія. Рузерфордъ также наблюдалъ, что воздухъ, прошедшій черезъ окись торія, сохраняетъ въ продолженіе приблизительно 10 минутъ значительную электропроводность. Такой воздухъ сообщаетъ неактивнымъ веществамъ, въ особенности наэлектризованнымъ отрицательно, индуктированную радіоактивность. Рузерфордъ для объясненія своихъ опытовъ полагаетъ, что соединенія торія, въ особенности его окись, испускаютъ особую *радіоактивную эманацію*. Эта эманація заряжена положительно и легко можетъ быть увлекаема струею воздуха. Эта эманація и является причиною индуктированной радіоактивности. Дорнъ воспроизвелъ съ радіоносной солью барія, тѣ же опыты, которые Рузерфордъ сдѣлалъ съ окисью торія [2]).

Дебирнъ показалъ, что актиній вызываетъ чрезвычайно сильную индуктированную активность тѣлъ, помѣщенныхъ по сосѣдству съ нимъ. При этомъ, такъ же, какъ и для торія, активность замѣтно увлекается струею воздуха [3]).

Индуктированная радіоактивность проявляется въ весьма различныхъ видахъ. Результаты получаются непостоянные, если активность возбуждается помѣщеніемъ даннаго

[1]) Rutherford, Phil. Mag., janvier et février 1900.
[2]) Dorn, Abh. Naturforsch. Gesell. Halle, juin 1900.
[3]) Debierne, Comptes rendus, 30 juillet 1900; 16 février 1903.

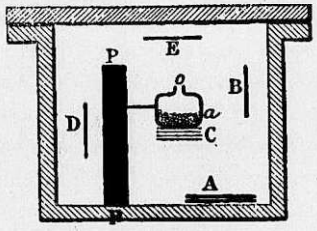
вещества въ сосѣдствѣ съ радіемъ на открытомъ воздухѣ. Кюри и Дебирнъ указали, что явленіе, напротивъ, бываетъ очень регулярнымъ, когда радій дѣйствуетъ въ закрытомъ сосудѣ, какъ это было въ ихъ опытахъ [1]).

Возбужденіе активности въ закрытомъ помѣщеніи. — Индуктированная радіоактивность одновременно и болѣе интенсивна, и болѣе регулярна, когда дѣйствуютъ въ закрытомъ сосудѣ. Активное вещество помѣщено въ маленькой стклянкѣ *a*, открытой въ *o* (фиг. 12), которая находится внутри закрытаго помѣщенія. Различныя пластинки A, B, C, D, E, мѣщенныя въ этомъ закрытомъ сосудѣ, дѣлаются радіоактивными по истеченіи одного дня дѣйствія. Активность одна и та же, каково бы ни было вещество пластинки при равныхъ размѣрахъ (свинецъ, мѣдь, аллюминій, стекло, эбонитъ, воскъ, картонъ, парафинъ). Активность же одной стороны какой нибудь пластинки тѣмъ больше, чѣмъ больше было свободное пространство съ этой стороны въ сосудѣ.

Если повторить предыдущій опытъ съ стклянкой *a*, вполнѣ запаянной, то никакой индуктированной активности не получается.

Лучи радія не принимаютъ непосредственнаго участія въ возбужденіи индуктированной радіоактивности. Поэтому въ предыдущемъ опытѣ пластинка D, защищенная отъ лучей толстымъ свинцовымъ экраномъ PP, получаетъ такую же активность, какъ B и E.

(Фиг. 12).



Радіоактивность отъ дѣятельнаго вещества при посредствѣ воздуха передается все далѣе и далѣе къ окружаю-

[1]) Curie et Debierne, Comptes rendus, 4 mars 1901.

щимъ тѣламъ. Она можетъ даже переходить на далекое разстояніе по очень узкимъ капилярнымъ трубкамъ.

Индуктированная радіоактивность, въ одно и то же время, болѣе интенсивна и болѣе правильна, если замѣнить активирующую твердую радіоносную соль ея воднымъ растворомъ.

Жидкости также способны пріобрѣтать индуктированную радіоактивность. Можно, напримѣръ, сдѣлать радіоактивной чистую воду, наливъ ее въ сосудъ, который ставятъ въ закрытомъ помѣщеніи вмѣстѣ съ растворомъ радіоносной соли.

Нѣкоторыя вещества становятся свѣтящимися, когда ихъ помѣщаютъ въ сосудъ съ радіоактивнымъ веществомъ (тѣла фосфоресцирующія и флуоресцирующія, стекло, бумага, хлопчатая бумага, вода, солевые растворы). Фосфоресцирующій сѣрнокислый цинкъ особенно ярко свѣтится въ этихъ условіяхъ. Впрочемъ, радіоактивность этихъ свѣтящихся тѣлъ такая же, какая въ этихъ условіяхъ возбуждается въ несвѣтящемъ кускѣ металла и т. п.

Каково бы ни было вещество, получающее активность въ закрытомъ сосудѣ, величина этой активности постепенно увеличивается со временемъ и, наконецъ, достигаетъ предѣльнаго значенія, вполнѣ опредѣленнаго, если употребляютъ одно и то же возбуждающее вещество при одинаковыхъ условіяхъ опыта.

Предѣльная индуктированная радіоактивность не зависитъ отъ природы и давленія газа, наполняющаго сосудъ (воздухъ, водородъ, углекислота).

Предѣльная индуктированная радіоактивность въ одномъ и томъ же помѣщеніи зависитъ только отъ количества радія, находящагося тамъ въ растворенномъ состояніи и, повидимому, пропорціональна этому количеству.

Роль газа въ явленіяхъ индуктированной радіоактивности. Эманація.— Газы, находящіеся въ помѣщеніи, содержащемъ твердую соль радія или ея растворъ, радіоактивны. Эта радіоактивность сохраняется, если газы выкачивать насосомъ и собирать ихъ въ пробирку. Стѣнки пробирки сами дѣлаются въ этомъ случаѣ радіоактивными и стекло пробирки свѣтится въ темнотѣ. Активность и свѣченіе пробирки потомъ совершенно пропадаютъ, но очень медленно и по прошествіи мѣсяца можно еще констатировать ея радіоактивность.

Въ началѣ нашихъ опытовъ г. Кюри и я получили, нагрѣвая урановую смоляную руду, сильно-радіоактивный газъ, но, какъ и въ предыдущемъ опытѣ, активность этого газа впослѣдствіи совершенно исчезла [1]).

Итакъ, при торіи, радіи и актиніи, индуктированная радіоактивность распространяется постепенно черезъ газъ, отъ активнаго тѣла до стѣнокъ заключающаго его сосуда, и этотъ газъ, когда его извлекаютъ изъ сосуда, уноситъ съ собою способность возбуждать индуктированную радіоактивность.

Когда измѣряютъ радіоактивность радіоносныхъ веществъ по электрическому методу съ помощью прибора (фиг. 1), воздухъ между пластинками становится также радіоактивнымъ; но, пропуская струю воздуха между пластинками конденсатора, мы не наблюдаемъ замѣтнаго уменьшенія силы тока; это доказываетъ, что радіоактивность, разлитая въ промежуткѣ между пластинками, слишкомъ незначительна въ сравненіи съ радіоактивностью самого твердаго радія.

Совсѣмъ иначе дѣло обстоитъ съ торіемъ. Неправильности, которыя я наблюдала при измѣреніи радіоактивности соединеній торія, происходили отъ того, что я въ то время работала съ открытымъ конденсаторомъ; поэтому малѣйшее движеніе воздуха производитъ значительное измѣненіе въ силѣ тока, такъ какъ радіоактивность, разлитая въ пространствѣ сосѣднемъ съ торіемъ, значительна въ сравненіи съ радіоактивностью послѣдняго.

Этотъ эффектъ еще гораздо болѣе замѣтенъ для актинія. Очень активное соединеніе актинія кажется гораздо менѣе активнымъ, если на него пускаютъ струю воздуха.

Радіоактивность газа содержится въ немъ въ видѣ какой-то особой формы энергіи. Рузерфордъ предполагаетъ, что нѣкоторыя радіоактивныя тѣла постоянно выдѣляютъ радіоактивный матеріальный газъ, который онъ называлъ „эманаціей“. Это тотъ газъ, который долженъ, повидимому, обладать свойствомъ дѣлать радіоактивными тѣла, находящіяся въ пространствѣ, гдѣ онъ разсѣянъ. Тѣла, испускающія эманацію, суть радій, торій и актиній.

---

[1]) P. Curie et M-me Curie, Rapports au Congrès de Physique, 1900.

Исчезновеніе индуктированной радіоактивности твердыхъ тѣлъ въ свободномъ воздухѣ. — Твердое тѣло, въ которомъ возбуждена активность достаточно продолжительнымъ пребываніемъ его съ радіемъ въ замкнутомъ сосудѣ, будучи извлечено изъ этого сосуда, въ открытомъ воздухѣ лишается активности [1]). Ходъ измѣненія этой активности для всѣхъ тѣлъ выражается показательной функціей слѣдующаго вида:

$$I = I_0 \left(a e^{-\frac{t}{\Theta_1}} - (a-1)\, e^{-\frac{t}{\Theta_2}} \right),$$

гдѣ I_0 — начальная интенсивность лученспусканія въ моментъ извлеченія пластинки изъ сосуда, I — интенсивность во время t; a — числовой коэффиціентъ, $a = 4{,}20$; Θ_1 и Θ_2 — постоянныя времени: $\Theta_1 = 2420$ секундъ, $\Theta_2 = 1860$ секундъ. Къ концу 2—3 часовъ этотъ законъ приводится къ простой показательной функціи, вліяніе второго члена на величину I не даетъ себя больше чувствовать. Законъ исчезновенія активности тогда таковъ, что интенсивность лученспусканія уменьшается на половину за 28 минутъ. Конечный законъ можно разсматривать какъ характерный для исчезновенія активности въ свободномъ воздухѣ для твердыхъ тѣлъ, получившихъ активность отъ радія.

Твердыя тѣла, активность которыхъ получена отъ актинія, теряютъ ее въ свободномъ воздухѣ, слѣдуя закону показательной функціи, близкой къ предыдущей, но исчезновеніе активности нѣсколько медленнѣе [2]).

Твердыя тѣла, получившія активность отъ торія, теряютъ ее гораздо медленнѣе; интенсивность лученспусканія уменьшается на половину втеченіе 11 часовъ [3]).

Исчезновеніе активности въ закрытомъ сосудѣ. Скорость уничтоженія эманаціи [4]). — Закрытый сосудъ, получившій активность отъ радія, теряетъ ее послѣ удаленія радія значительно медленнѣе, чѣмъ въ томъ случаѣ, если-бы онъ былъ открытъ. Можно, напримѣръ, сдѣлать опытъ со стеклянной трубкой, которой сообщаютъ активность на

[1]) Curie et Danne, Comptes rendus, 9 février 1903.
[2]) Debierne, Comptes rendus, 16 février 1903.
[3]) Rutherford, Phil. Mag., février 1900.
[4]) P. Curie, Comptes rendus, 17 novembre 1902.

внутренней поверхности, приводя ее на извѣстное время въ соприкосновеніе съ растворомъ соли радія. Затѣмъ эту трубку запаиваютъ на лампѣ и измѣряютъ интенсивность лученспусканія, исходящаго сквозь стѣнки трубки за время исчезновенія активности.

Законъ убыванія активности выражается показательной функціей. Онъ съ большой точностью выражается формулою:

$$I = I_0\, e^{-\frac{t}{\Theta}},$$

гдѣ I_0 — интенсивность начальнаго лученспусканія.

I — интенсивность лученспусканія во время t.

Θ — постоянная времени $= 4{,}970 \times 10^5$ сек.

Интенсивность лученспусканія уменьшается вдвое за 4 дня.

Этотъ законъ убыванія активности абсолютно не измѣненъ, каковы бы ни были условія опыта (размѣры помѣщенія, вещество стѣнокъ, природа газа въ помѣщеніи, продолжительность возбужденія и т. д.). Законъ убыванія активности остается тотъ же самый при всякой температурѣ между—180° и 450°. Этотъ законъ убыванія активности, такимъ образомъ, вполнѣ характеренъ и могъ бы служить для опредѣленія времени, какъ абсолютно независимый эталонъ.

Въ этихъ опытахъ активность стѣнокъ поддерживается радіоактивной энергіей, накопленной въ газѣ. Въ самомъ дѣлѣ, если выкачать газъ изъ трубки, то замѣтимъ, что тогда стѣнки теряютъ активность гораздо быстрѣе и интенсивность лученспусканія уменьшается вдвое за 28 минутъ. Тотъ же результатъ получится, если замѣнить активный воздухъ внутри сосуда обыкновеннымъ.

Пониженіе активности вдвое за 4 дня характерно для исчезанія радіоактивной энергіи, накопленной въ газѣ. Пользуясь выраженіемъ, принятымъ Рузерфордомъ, можно сказать, что эманація радія исчезаетъ сама собой, съ теченіемъ времени, понижаясь на половину въ теченіе 4 дней.

Эманація торія другой природы и исчезаетъ гораздо быстрѣе. Активность уменьшается на половину, приблизительно въ 1 мин. 10 сек.

Эманація актинія исчезаетъ еще быстрѣе и уменьшается на половину въ нѣсколько секундъ. Эльстеръ и Гей-

тель показали, что въ атмосферномъ воздухѣ всегда находится въ весьма слабой пропорціи радіоактивная эманація, аналогичная той, которую испускаютъ радіоактивныя тѣла. Металлическія проволоки, протянутыя въ воздухѣ и поддерживаемыя при отрицательномъ потенціалѣ, получаютъ активность подъ вліяніемъ этой эманаціи.

Воздухъ, высасываемый изъ почвы черезъ трубу, зарытую въ землю, особенно богатъ этой эманаціей [1]). Происхожденіе этой эманаціи еще неизвѣстно. Воздухъ, извлеченный изъ нѣкоторыхъ минеральныхъ водъ, имѣетъ эманацію, тогда какъ воздухъ изъ воды морей и рѣкъ почти лишенъ ея.

Природа эманаціи.—По Рузерфорду, эманація радіоактивнаго тѣла есть матеріальный радіоактивный газъ, выдѣляющійся изъ этого тѣла. Дѣйствительно, эманація радія во многомъ подобна обыкновенному газу.

Когда приводятъ въ сообщеніе два стеклянныхъ резервуара, изъ которыхъ одинъ содержитъ эманацію, а другой не содержитъ ея, эманація диффундируетъ во второй резервуаръ, а когда равновѣсіе устанавливается, мы констатируемъ, что эманація распредѣлилась между двумя резервуарами такъ, какъ это сдѣлалъ бы обыкновенный газъ: если оба резервуара имѣютъ одну и ту же температуру, то эманація распредѣляется между ними въ отношеніи ихъ объемовъ; если ихъ температуры различны, то она распредѣляется между ними какъ совершенный газъ, повинующійся законамъ Маріотта и Гей-Люссака. Чтобы подтвердить этотъ результатъ, достаточно измѣрить лучеиспусканіе перваго резервуара до и послѣ распредѣленія; это лучеиспусканіе пропорціонально количеству заключающейся въ этомъ резервуарѣ эманаціи. Но такъ какъ диффузія эманаціи требуетъ извѣстнаго времени для установленія равновѣсія, то, для точности относящагося къ опыту вычисленія, необходимо принимать въ разсчетъ, при самопроизвольномъ исчезаніи эманаціи, также и время [2]).

Эманація радія распространяется вдоль капиллярной трубки по законамъ диффузіи газовъ и ея коэффиціентъ оказывается сравнимымъ съ коэффиціентомъ диффузіи углекислоты [1]).

[1]) Elster et Geitel, Physik. Zeitschrift, 15 septembre 1902.
[2]) P. Curie et J. Danne, Comptes rendus, 2 juin 1903.

Рузерфордъ и Содди показали, что эманаціи радія и торія сгущаются при температурѣ жидкаго воздуха, какъ это случилось бы съ газами, переходящими въ жидкость при этой температурѣ. Такъ, богатый эманаціей воздухъ теряетъ свои радіоактивныя свойства, пройдя черезъ змѣевикъ, погруженный въ жидкій воздухъ, эманація остается сгущенной въ змѣевикѣ и ее можно снова получить въ состояніи газа, если змѣевикъ снова нагрѣть. Эманація радія обращается въ жидкость при—150°, эманація торія между—100° и 150° [2]). Можно сдѣлать слѣдующій опытъ: два стеклянныхъ закрытыхъ резервуара, одинъ большой, другой маленькій, сообщаются посредствомъ короткóй трубки, снабженной краномъ; они наполнены газомъ, получившимъ активность отъ радія, и поэтому оба свѣтятся. Малый резервуаръ мы погружаемъ въ жидкій воздухъ, и вся эманація въ немъ сгущается; черезъ нѣкоторое время раздѣляютъ другъ отъ друга оба резервуара, запирая кранъ, и затѣмъ вынимаютъ малый резервуаръ изъ жидкаго воздуха. Оказывается, что вся активность заключается теперь въ маломъ резервуарѣ. Чтобы убѣдиться въ этомъ, достаточно наблюдать фосфоресценцію стекла обоихъ резервуаровъ. Большой резервуаръ не свѣтится болѣе, тогда какъ малый свѣтится ярче, чѣмъ въ началѣ опыта. Опытъ выходитъ особенно блестяще, если обмазать стѣнки обоихъ резервуаровъ фосфоресцирующимъ сѣрнокислымъ цинкомъ.

Однако, если бы эманація радія была вполнѣ сравнима съ сжижаемымъ газомъ, то температура сжиженія посредствомъ охлажденія должна была бы зависѣть отъ количества эманаціи, содержащейся въ данномъ объемѣ воздуха, чего замѣчено не было.

Слѣдуетъ также обратить вниманіе на то, что эманація съ большой легкостью проходитъ чрезъ самыя тонкія поры и трещины твердыхъ тѣлъ въ условіяхъ, въ которыхъ обыкновенные матеріальные газы способны циркулировать только чрезвычайно медленно.

Наконецъ, эманація радія отличается отъ обыкновеннаго

[1]) P. Curie et J. Danne, Comptes rendus, 2 juin 1903.
[2]) Rutherford et Soddy, Phil. Mag., mai 1903.

матеріальнаго газа тѣмъ, что она самопроизвольно уничтожается, когда она заключена въ запаянной стеклянной трубкѣ; по крайней мѣрѣ, мы наблюдаемъ въ этихъ условіяхъ исчезновеніе радіоактивныхъ свойствъ. Въ настоящее время радіоактивность есть еще единственное свойство, которое характеризуетъ эманацію въ нашемъ сознаніи, ибо до сихъ поръ не установлено съ несомнѣнностью ни существованіе характернаго для эманаціи спектра, ни давленія производимаго эманаціею.

Впрочемъ, въ самое послѣднее время Рамзай и Содди наблюдали въ спектрѣ газовъ, извлеченныхъ изъ радія, новыя линіи, которыя, по ихъ мнѣнію, могли бы принадлежать эманаціи радія. Они констатировали также, что извлеченные изъ радія газы содержатъ гелій и что этотъ послѣдній газъ образуется самопроизвольно въ присутствіи эманаціи радія [1]). Если эти результаты, важность которыхъ весьма значительна, подтвердятся, то можно будетъ смотрѣть на эманацію, какъ на неустойчивый матеріальный газъ, и гелій тогда можетъ быть будетъ однимъ изъ продуктовъ самопроизвольнаго распаденія этого газа.

Эманаціи радія и торія, повидимому, не измѣняются подъ вліяніемъ различныхъ очень энергичныхъ химическихъ агентовъ и по этой причинѣ Рузерфордъ и Содди уподобляютъ ихъ газамъ группы аргона [2]).

Измѣняемость индуктированной активности жидкостей и радіоносныхъ растворовъ. — Всякая жидкость дѣлается радіоактивной, когда она помѣщена въ сосудъ въ активную среду. Если жидкость вынимаютъ изъ сосуда и предоставляютъ свободному притоку воздуха, то она быстро теряетъ свою активность, передавая ее газу и окружающимъ ее твердымъ тѣламъ. Если заключить жидкость, получившую активность, въ закрытую стклянку, то она теряетъ активность очень медленно и активность въ этомъ случаѣ уменьшается на половину въ теченіе 4 дней, какъ это случилось бы съ активнымъ газомъ, заключеннымъ въ закрытомъ сосудѣ. Можно объяснить этотъ фактъ, допуская, что радіоактивная энергія аккумулирована въ жидкостяхъ въ видѣ тождественномъ съ тѣмъ, въ какомъ она аккумулирована въ газахъ (въ видѣ эманаціи).

[1]) Ramsay et Soddy, Physikalische Zeitschrift, 15 septembre 1903.
[2]) Phil. Mag., 1902, p. 580, 1903, p. 457.

Растворъ соли радія ведетъ себя отчасти аналогичнымъ образомъ. Съ самаго начала мы ясно замѣчаемъ, что самый растворъ соли радія, который помѣщенъ на нѣкоторое время въ замкнутой камерѣ, не болѣе активенъ, чѣмъ чистая вода, налитая въ сосудъ, поставленный въ той же камерѣ, когда равновѣсіе активности установится. Если вынуть радіоносный растворъ изъ камеры и оставить его на воздухѣ въ широко открытомъ сосудѣ, то активность его разсѣивается въ пространствѣ и растворъ становится почти неактивнымъ, хотя и содержитъ радій. Если затѣмъ заключить этотъ лишенный активности растворъ въ закупоренную стклянку, то онъ постепенно, недѣли въ двѣ, пріобрѣтаетъ снова предѣльную активность, которая можетъ быть значительна. Наоборотъ, жидкость, не содержащая радія, потерявши активность на открытомъ воздухѣ, не пріобрѣтаетъ ее снова, если перелить эту жидкость въ закупоренную стклянку.

Теорія радіоактивности. — Вотъ, согласно Кюри и Дебирну, общая теорія, которая позволяетъ согласовать результаты изученія индуктированной радіоактивности, результаты, только что изложенные мною и представляющіе собой факты, независимые отъ какой-бы то ни было гипотезы [1]).

Можно принять, что всякій атомъ радія дѣйствуетъ какъ непрерывный и постоянный источникъ энергіи, не разсматривая, откуда эта энергія берется. Радіоактивная энергія, накопляющаяся въ радіи, стремится разсѣяться двумя различными способами: 1) черезъ лучеиспусканіе (лучи, несущіе электрическіе заряды и лучи не заряженные) и 2) черезъ проводимость, т. е. путемъ постепенной передачи энергіи окружающимъ тѣламъ, при посредствѣ газовъ и жидкостей (выдѣленіе эманаціи и преобразованіе въ индуктированную радіоактивность).

Потеря радіоактивной энергіи, какъ черезъ лучеиспусканіе, такъ и черезъ проводимость, растетъ вмѣстѣ съ количествомъ накопленной радіоактивнымъ тѣломъ энергіи. Подвижное равновѣсіе при этомъ обязательно должно, насту-

[1]) Curie et Debierne, Comptes rendus, 29 juillet 1901.

пить, когда двоякаго рода потеря энергіи, о которой я только что сказала, уравновѣшивается непрерывнымъ притокомъ энергіи, исходящей отъ радія. Такая точка зрѣнія аналогична той, которая принята по отношенію къ тепловымъ явленіямъ. Если внутри какого-нибудь тѣла, по какой-нибудь причинѣ, образуется непрерывное и постоянное выдѣленіе тепла, то тепло накопляется въ окружающихъ тѣлахъ и температура повышается до тѣхъ поръ, пока потеря тепла черезъ лученспусканіе и теплопроводность не уравновѣсится съ постояннымъ притокомъ тепла.

Вообще, если исключить нѣкоторыя особыя условія, активность не передается отъ слоя къ слою сквозь твердыя тѣла. Когда сохраняютъ растворъ въ запаянной трубкѣ, то остается только потеря черезъ лученспусканіе и радіоактивность раствора дѣлается высокой.

Если, наоборотъ, растворъ находится въ открытомъ сосудѣ, постепенная потеря активности черезъ проводимость становится значительнѣе и когда наступаетъ устойчивый режимъ, то активность раствора очень слаба.

Радіоактивность твердой радіоносной соли, предоставленной свободному притоку воздуха, не уменьшается чувствительно, такъ какъ, за отсутствіемъ проводимости радіоактивности черезъ твердыя тѣла, индуктированная радіоактивность образуется только въ поверхностномъ очень тонкомъ слоѣ. Въ самомъ дѣлѣ, мы видѣли, что растворъ той же соли производитъ гораздо болѣе интенсивныя явленія индуктированной радіоактивности. Въ случаѣ твердой соли радіоактивная энергія аккумулируется въ соли и разсѣивается, главнымъ образомъ, черезъ лученспусканія. Наоборотъ, когда соль втеченіе нѣсколькихъ дней находится въ водномъ растворѣ, радіоактивная энергія дѣлится между водой и солью, а если ихъ раздѣляютъ перегонкой, то вода увлекаетъ большую часть активности и твердая соль становится гораздо менѣе активной (въ 10 или въ 15 разъ), чѣмъ до растворенія. Потомъ твердая соль, мало по малу, пріобрѣтаетъ снова свою первоначальную активность.

Можно попытаться еще точнѣе выразить предыдущую теорію, представивъ себѣ, что активность радія сама по себѣ происходитъ, по крайней мѣрѣ большей своей частью, отъ радіоактивной энергіи, выдѣляемой въ формѣ эманаціи.

Можно принять, что каждый атомъ радія есть непрерывный и постоянный источникъ эманаціи. Въ то же самое время, какъ появляется энергія въ этой формѣ, она постепенно преобразуется въ радіоактивную энергію Беккерелевыхъ лучей; быстрота этого преобразованія пропорціональна количеству накопленной эманаціи. Когда радіоносный растворъ заключенъ въ замкнутую оболочку, эманація можетъ разливаться въ замкнутомъ пространствѣ и по стѣнкамъ. Именно, здѣсь она преобразуется въ лученспусканіе, тогда какъ самый растворъ испускаетъ очень мало лучей Беккереля,— лученспусканіе, такимъ образомъ, въ нѣкоторомъ смыслѣ зарождается внѣ самого радіоактивнаго вещества. Напротивъ, въ твердомъ радіи эманація, не будучи въ состояніи легко отдѣляться, накопляется и тутъ-же преобразуется въ лученспусканіе Беккереля; и такимъ образомъ это лученспусканіе достигаетъ значительной величины [1]).

Если бы эта теорія радіоактивности была общей, то пришлось бы принять, что всѣ радіоактивныя тѣла даютъ эманацію. Но это испусканіе эманаціи было констатировано для радія, торія и актинія; это послѣднее тѣло испускаетъ ея чрезвычайно много, даже въ твердомъ состояніи. Уранъ и полоній, повидимому, не испускаютъ эманаціи, хотя испускаютъ лучи Беккереля. Эти тѣла не производятъ индуктированной радіоактивности въ закрытомъ сосудѣ, подобно вышеупомянутымъ радіоактивнымъ тѣламъ. Этотъ фактъ, однако, не стоитъ въ абсолютномъ противорѣчіи съ предыдущей теоріей. Дѣйствительно, если бы уранъ и полоній испускали эманаціи, исчезающія съ величайшей быстротой, то было бы очень трудно прослѣдить унесеніе этихъ эманацій воздухомъ и эффекты индуктированной радіоактивности, производимыя ими на сосѣднія тѣла. Такая гипотеза отнюдь не невѣроятна, такъ какъ времена, въ теченіе которыхъ количества эманаціи радія и торія уменьшаются вдвое, относятся между собою, какъ 5000 : 1. Кромѣ того, мы увидимъ, что, въ извѣстныхъ условіяхъ, уранъ способенъ вызывать индуктированную радіоактивность.

Другая форма индуктивной радіоактивности. — По за-

[1]) Curie, Comptes rendus, 26 janvier 1903.

кону исчезновенія активности при доступѣ воздуха, радіоактивность твердыхъ тѣлъ, возбужденная радіемъ, по прошествіи одного дня почти незамѣтна.

Нѣкоторыя тѣла составляютъ, впрочемъ, исключеніе: таковы суть целлулоидъ, парафинъ, каучукъ и проч. Когда эти тѣла подвергались дѣйствію радія достаточно продолжительное время, они теряли активность медленнѣе, чѣмъ это слѣдовало бы по закону, и часто нужно 15 — 20 дней для того, чтобы активность сдѣлалась незамѣтной. Эти тѣла какъ будто обладаютъ свойствомъ впитывать въ себя радіоактивную энергію въ видѣ эманацій, впослѣдствіи они теряютъ ее мало по малу, возбуждая индуктивную радіоактивность въ сосѣднихъ тѣлахъ.

Медленно развивающаяся индуктированная радіоактивность.— Наблюдается еще совершенно другая форма индуктированной радіоактивности, которая, повидимому, возбуждается во всѣхъ тѣлахъ, когда они въ теченіе мѣсяцевъ остаются въ замкнутомъ помѣщеніи съ радіемъ. Когда эти тѣла вынимаютъ изъ этого помѣщенія, ихъ активность сначала уменьшается до очень малыхъ величинъ, согласно обыкновенному закону (уменьшеніе вдвое за полчаса), но когда активность упала приблизительно до $\frac{1}{20000}$ первоначальной величины, она не уменьшается болѣе или, по крайней мѣрѣ, измѣняется чрезвычайно медленно, а иногда даже идетъ увеличиваясь. У насъ имѣются пластинки мѣди, аллюминія, стекла, которыя подобнымъ образомъ сохраняютъ остаточную активность въ теченіе больше, чѣмъ 6 мѣсяцевъ.

Эти явленія индуктированной активности, повидимому, имѣютъ совсѣмъ другую природу, чѣмъ явленія обычныя и они развиваются гораздо медленнѣе.

Значительное время требуется какъ для появленія, такъ и для исчезновенія этой формы индуктированной радіоактивности.

Индуктированная радіоактивность веществъ, находящихся въ растворѣ вмѣстѣ съ радіемъ. — При обработкѣ радіоносной радіоактивной руды, съ цѣлью извлеченія радія, мы совершаемъ химическія разложенія, послѣ которыхъ радіоактивность вся переходитъ къ одному изъ продуктовъ разложенія, другой же продуктъ совершенно неактивенъ.

Такъ, мы раздѣляемъ съ одной стороны радіоактивные продукты, которые могутъ быть въ нѣсколько сотъ разъ активнѣе урана, а съ другой стороны, мѣдь, сурьму, мышьякъ и пр., абсолютно неактивные. Нѣкоторыя другія тѣла (желѣзо, свинецъ) никогда не были отдѣлены въ состояніи совершенно неактивномъ.

По мѣрѣ того, какъ радіоактивныя тѣла концентрируются, состояніе ихъ не остается неизмѣннымъ; никакое химическое раздѣленіе не даетъ абсолютно неактивныхъ тѣлъ; всѣ остающіяся отъ раздѣленія порціи всегда въ различныхъ степеняхъ активны.

Послѣ открытія индуктированной радіоактивности, Гизель первый попробовалъ сообщить активность обыкновенному висмуту, держа его въ растворѣ съ очень активнымъ радіемъ. Онъ получилъ, такимъ образомъ, радіоактивный висмутъ [1]) и изъ этого заключилъ, что полоній, извлеченный изъ урановой смоляной руды, былъ, вѣроятно, висмутъ, получившій активность, благодаря сосѣдству содержащагося въ рудѣ радія.

Равнымъ образомъ, я приготовила радіоактивный висмутъ, держа его въ растворѣ вмѣстѣ съ очень активной радіоносной солью.

Трудности этого опыта состоятъ въ чрезвычайныхъ усиліяхъ, какія нужно сдѣлать для извлеченія радія изъ раствора. Если, съ одной стороны, мы видимъ, что для возбужденія очень замѣтной радіоактивности въ одномъ граммѣ вещества достаточно безконечно малаго количества радія, то, съ другой стороны, никогда нельзя признать получившій активность продуктъ достаточно промытымъ и очищеннымъ. Но всякая очистка влечетъ за собой пониженіе активности продукта, потому ли, что мы дѣйствительно уносимъ оттуда слѣды радія, или потому, что при этихъ условіяхъ индуктированная радіоактивность не сохраняется вслѣдствіе химическихъ преобразованій.

Полученные мною результаты, повидимому, устанавливаютъ съ опредѣленностью, что возбужденная активность остается и послѣ отдѣленія радія. Такимъ образомъ, расчленяя мой азотнокислый висмутъ, получившій активность,

[1]) Giesel Société de Physique de Berlin, janvier 1900.

путемъ осажденія водой азотнокислаго раствора, я нашла, что послѣ очень тщательной очистки онъ раздѣляется какъ и полоній, именно, самая активная часть осаждается впередъ.

Если очистка вещества недостаточна, происходитъ обратное, это указываетъ, что слѣды радія находятся еще вмѣстѣ съ активнымъ висмутомъ. Я получала также активный висмутъ, характеръ расчлененія котораго указывалъ на большую чистоту и который былъ въ 2000 разъ активнѣе урана. Активность этого висмута уменьшается съ теченіемъ времени. Но другая часть того же продукта, приготовленнаго съ тѣми же предосторожностями и разлагаемаго въ томъ же направленіи, сохраняетъ свою активность безъ замѣтнаго уменьшенія въ теченіе вотъ уже 3 лѣтъ.

Эта активность въ 150 разъ превышаетъ активность урана.

Я активировала также свинецъ и серебро, оставляя ихъ въ растворѣ съ радіемъ. Чаще всего индуктированная радіоактивность, полученная такимъ образомъ, не уменьшается вовсе со временемъ, но она, вообще говоря, не сохраняется при многихъ послѣдовательныхъ химическихъ преобразованіяхъ активнаго тѣла.

Дебирнъ [1]) возбуждалъ активность въ баріи, оставляя его въ растворѣ съ актиніемъ. Этотъ активный барій остается активнымъ послѣ различныхъ химическихъ преобразованій, такимъ образомъ, его активность есть устойчивое атомное свойство. Активный хлористый барій отдѣляется, какъ радіоносный хлористый барій; части, наиболѣе активныя, наименѣе растворимы въ водѣ и разведенной соляной кислотѣ. Сухая хлористая соль самопроизвольно свѣтится; ея Беккерелевскіе лучи аналогичны лучамъ хлористаго радіоноснаго барія. Дебирнъ получилъ хлористый барій въ 1000 разъ болѣе активный, чѣмъ уранъ. Этотъ барій не пріобрѣлъ, однако, всѣхъ свойствъ радія, ибо не давалъ въ спектроскопѣ ни одной изъ болѣе замѣтныхъ линій радія. Затѣмъ его активность уменьшалась со временемъ и черезъ три недѣли она стала въ три раза меньшей, чѣмъ вначалѣ. Предстоитъ произвести цѣлое изслѣдованіе надъ возбужденіемъ активности веществъ въ растворѣ съ радіоактивными тѣлами. Было бы возможно, повидимому, по условіямъ опыта, получить болѣе или менѣе стойкія формы атомной индуктированной радіоактивности. Индуктированная радіоактивность въ этихъ условіяхъ есть, быть можетъ, та же медленно развивающаяся форма активности, которую получаютъ при продолжительномъ дѣйствіи радіоактивнаго тѣла на разстояніи въ замкнутомъ пространствѣ. Вполнѣ умѣстно поставить вопросъ, до какой степени атомная индуктированная радіоактивность вліяетъ на химическую природу атома и въ состояніи-ли она измѣнить химическія свойства послѣдняго, временно или постоянно.

[1]) Debierne, Comptes rendus, juillet 1900.

Химическое изученіе тѣлъ, подвергнутыхъ дѣйствію активныхъ веществъ на разстояніи, становится труднымъ оттого, что возбужденіе активности ограничивается очень тонкимъ поверхностнымъ слоемъ и, слѣдовательно, количество вещества, которое можетъ подвергнуться преобразованію, необычайно мало.

Индуктированная радіоактивность можетъ также быть получена опусканіемъ данныхъ веществъ въ урановый растворъ. Опытъ удался съ баріемъ. Если, какъ это сдѣлалъ Дебирнъ, прибавить сѣрной кислоты къ раствору, содержащему уранъ и барій, то осажденный сѣрнокислый барій становится активнымъ; въ то же время урановая соль теряетъ часть своей активности. Беккерель нашелъ, что, повторяя эту операцію нѣсколько разъ, мы получаемъ уранъ, едва активный. Согласно этому, можно было бы думать, что этой операціей достигается отдѣленіе отъ урана отличнаго отъ этого металла радіоактивнаго тѣла, присутствіе котораго производитъ радіоактивность урана. Но этого вовсе нѣтъ, ибо черезъ нѣсколько мѣсяцевъ уранъ пріобрѣтаетъ снова свою первоначальную активность; напротивъ, осажденный сѣрнокислый барій теряетъ ту активность, которую пріобрѣлъ.

Аналогичное явленіе получается съ торіемъ. Рузерфордъ осаждаетъ растворъ торійной соли амміакомъ; затѣмъ онъ отдѣляетъ растворъ и выпариваетъ его досуха.

Такимъ образомъ, онъ получаетъ небольшой очень активный осадокъ, а осажденный торій оказывается менѣе активенъ, чѣмъ прежде. Этотъ активный осадокъ, которому Рузерфордъ далъ названіе „*торія* X“, теряетъ со временемъ

свою активность, тогда какъ торій пріобрѣтаетъ снова свою первоначальную активность [1]).

Что касается радіоактивности индуктированной въ растворѣ, то, повидимому, разныя тѣла относятся неодинаково, и нѣкоторыя изъ нихъ гораздо болѣе воспріимчивы въ этомъ отношеніи, чѣмъ другія.

Разсѣяніе радіоактивной пыли и индуктированная радіоактивность лабораторіи. — При изслѣдованіи сильно-радіоактивныхъ веществъ, нужно принимать особыя предосторожности, если хотятъ продолжать дѣлать тонкія измѣренія. Различные предметы, употребляемые въ химической лабораторіи, служащіе для физическихъ опытовъ, неминуемо дѣлаются всѣ радіоактивными и дѣйствуютъ на фотографическія пластинки черезъ черную бумагу. Пыль, воздухъ комнаты, платье—радіоактивны. Воздухъ комнаты становится проводникомъ. Въ лабораторіи, гдѣ мы работаемъ, это очень серьезное неудобство и мы не можемъ болѣе имѣть хорошо изолированнаго прибора.

Умѣстно поэтому принять особыя предосторожности, чтобы насколько возможно устранить разсѣяніе активныхъ пылинокъ и избѣжать, такимъ образомъ, явленій индуктированной активности.

Предметы, употребляемые въ химіи, никогда не слѣдуетъ вносить въ залъ физическихъ изслѣдованій и нужно возможно меньше безъ надобности оставлять активныя тѣла въ этой залѣ. До начала этихъ изслѣдованій мы, обыкновенно, работая надъ статическимъ электричествомъ, устанавливали сообщеніе между различными приборами посредствомъ изолированныхъ металлическихъ проволокъ, защищенныхъ металлическими цилиндрами, соединенными съ землей, которые предохраняли проволоки отъ всякаго внѣшняго электрическаго вліянія. При работахъ надъ радіоактивными тѣлами, подобное расположеніе абсолютно недостаточно; въ виду проводимости воздуха, изоляція между проволокою и цилиндромъ плохая и электродвижущая сила неизбѣжнаго контакта между проволокою и цилиндромъ стремится произвести черезъ воздухъ токъ и отклонить электрометръ.

[1]) Rutherford et Soddy, Zeitschr. für physik. Chemie t. XLII, 902, p. 81

Теперь мы защищаемъ отъ воздуха всѣ соединительныя проволоки, помѣщая ихъ, напримѣръ, внутрь цилиндровъ, наполненныхъ парафиномъ или другимъ изолирующимъ веществомъ. Было бы также лучше употреблять при этихъ изслѣдованіяхъ вполнѣ закрытые электрометры.

Возбужденіе активности безъ участія радіоактивныхъ веществъ.— Были сдѣланы попытки получить индуктированную радіоактивность внѣ дѣйствія радіоактивныхъ веществъ.

Вилляръ [1]) подвергъ дѣйствію катодныхъ лучей кусокъ висмута, помѣщая какъ антикатодъ въ Круксову трубку; этотъ висмутъ, такимъ образомъ, сдѣлался радіоактивнымъ, правда, необыкновенно слабо-активнымъ, ибо понадобилось 8 дней, чтобы при помощи его получить фотографическій отпечатокъ.

Макъ Леннанъ подвергалъ различныя соли дѣйствію катодныхъ лучей и затѣмъ слегка нагрѣвалъ ихъ. Эти соли получаютъ тогда способность разряжать тѣла, заряженныя положительно [2]).

Работы этого рода представляютъ большой интересъ Если бы, пользуясь физически-извѣстными агентами, было возможно создавать въ первоначально неактивныхъ тѣлахъ замѣтную радіоактивность, мы могли бы надѣяться такимъ образомъ найти причину самопроизвольной радіоактивности нѣкоторыхъ веществъ.

Измѣненіе активности радіоактивныхъ тѣлъ. Дѣйствіе растворенія. — Полоній, какъ я сказала выше, со временемъ уменьшается въ активности. Это уменьшеніе медленно и, повидимому, идетъ не съ одинаковой быстротой для всѣхъ образцовъ. Одинъ образецъ азотнокислаго висмута съ полоніемъ потерялъ половину своей активности за 11 мѣсяцевъ и 95% ея за 33 мѣсяца. Другіе образцы испытали аналогичныя уменьшенія.

Одинъ образецъ висмута съ металлическимъ полоніемъ былъ полученъ изъ азотистой соли и послѣ своего приготовленія оказался въ 100000 разъ активнѣе урана. Этотъ металлъ теперь обладаетъ только средней радіоактивностью

[1]) Villard Société de Physique, juillet 1900.

[2]) Mac Lennan, Phil. Mag. février 1902.

(въ 2000 разъ активнѣе урана). Его радіоактивность измѣрялась отъ времени до времени. Въ теченіе 6 мѣсяцевъ этотъ металлъ потерялъ 67% своей радіоактивности.

Потеря активности, повидимому, не облегчается химическими реакціями. При быстрыхъ химическихъ операціяхъ, мы, вообще, не констатируемъ значительной потери активности.

Въ противоположность тому, что мы наблюдаемъ съ полоніемъ, радіоносныя соли обладаютъ устойчивой радіоактивностью, которая не обнаруживаетъ замѣтнаго уменьшенія по прошествіи нѣсколькихъ лѣтъ.

Только что приготовленная твердая соль радія не имѣетъ постоянной активности. Ея активность идетъ увеличиваясь, начиная съ момента приготовленія, и достигаетъ предѣльной величины, замѣтно не измѣняющейся приблизительно черезъ мѣсяцъ. При растореніи происходитъ обратное. Только что приготовленный растворъ очень активенъ, но на открытомъ воздухѣ его активность быстро уменьшается и достигаетъ предѣльной величины, которая можетъ быть значительно меньше первоначальной активности. Эти измѣненія активности впервые наблюдалъ Гизель [1]). Они очень хорошо объясняются съ точки зрѣнія эманаціи. Уменьшеніе активности раствора соотвѣтствуетъ потерѣ эманаціи, которая разсѣивается въ пространствѣ. Это пониженіе активности будетъ гораздо меньше, если растворъ помѣщенъ въ запаянную трубку. Растворъ, лишившійся активности на открытомъ воздухѣ, снова пріобрѣтаетъ бо́льшую активность, когда его помѣщаютъ въ запаянную трубку.

Періодъ наростанія активности соли которая послѣ растворенія снова приведена въ твердое состояніе, есть тотъ періодъ, въ теченіе котораго эманація накопляется снова въ твердомъ радіи.

Вотъ нѣсколько относящихся сюда опытовъ:

Растворъ радіоноснаго хлористаго барія, оставленный на свободномъ воздухѣ въ теченіе 2 дней, становится въ 300 разъ менѣе активнымъ.

Растворъ заключенъ въ закрытый сосудъ; сосудъ открываютъ, выливаютъ растворъ въ ванну и измѣряютъ активность:

[1]) Giesel, Vied. Ann., t. LXIX, p. 91.

Активность, измѣренная	непосредственно	67
„ „	черезъ 2 часа	20
„ „	„ 2 дня	0,25

Растворъ радіоноснаго хлористаго барія, оставшійся на открытомъ воздухѣ, заключаютъ въ стеклянную запаянную трубку и измѣряютъ лученспусканіе этой трубки. Получаются слѣдующіе результаты:

Активность, измѣренная	непосредственно	27
„ „	черезъ 2 дня	61
„ „	„ 3 „	70
„ „	„ 4 „	81
„ „	„ 7 дней	100
„ „	„ 11 „	100

Начальная активность твердой соли послѣ ея приготовленія тѣмъ слабѣе, чѣмъ дольше она оставалась въ растворѣ. Болѣе значительная часть активности, слѣдовательно, передается растворителю. Вотъ начальныя активности, полученныя съ хлористой солью, которой предѣльная активность 800 и которую держали въ растворѣ опредѣленное время; затѣмъ соль высушили и тотчасъ же опредѣлили ея активность:

Активность предѣльная		800
Начальн. активность послѣ растворенія и непосредств. высушив.		440
„ „ „	того, какъ соль оставалась растворенной 5 дней	120
„ „ „	того, какъ соль оставалась растворенной 18 дней	130
„ „ „	того, какъ соль оставалась растворенной 32 дня	114

Въ этомъ опытѣ растворенная соль находилась въ сосудѣ, просто покрытомъ часовымъ стеклышкомъ.

Я сдѣлала два раствора той же соли, которые сохраняла въ запаянной трубкѣ въ теченіе 13 мѣсяцевъ; одинъ изъ этихъ растворовъ былъ въ 8 разъ концентрированнѣе другого:

Начальн. активность соли концентр. послѣ высушиванія		200
„ „ „	разведеннаго раствора послѣ высуш.	100

Потеря активности солью, поэтому, тѣмъ больше, чѣмъ больше масса растворителя, ибо радіоактивная энергія, пе-

реданная жидкости, должна насытить большій объемъ жидкости и наполнить большее пространство. Два образца одной и той-же соли, которые имѣли различную начальную активность, увеличивали кромѣ того свою активность вначалѣ съ очень различной быстротой; къ концу 1 дня они имѣли одну и ту же активность и наростаніе активности до предѣла продолжалось совершенно одинаково для обоихъ образцовъ.

Когда растворъ очень разведенъ, активность соли уменьшается очень быстро; на это указываютъ слѣдующіе опыты: три равныя порціи одной и той же радіоносной соли разведены въ одинаковыхъ количествахъ воды. Первый растворъ *a* оставленъ на открытомъ воздухѣ въ теченіе 1 часа, потомъ высушенъ. Черезъ 2-й растворъ *b* пропускаемъ въ теченіе часа токъ воздуха, потомъ высушиваемъ. Третій растворъ *c* оставленъ на 13 часовъ на открытомъ воздухѣ, потомъ высушенъ.

Начальная активность трехъ этихъ солей была такова:

Для порціи *a* 145,2
„ „ *b* 141,6
„ „ *c* 102,6

Предѣльная активность самой соли около 470. Мы убѣждаемся, что уже черезъ часъ главная часть эффекта произведена. Токъ воздуха, который пузырьками въ теченіе часа проходилъ черезъ растворъ *b*, произвелъ малый эффектъ. Содержаніе соли въ растворѣ было около 0,5%.

Радіоактивная энергія въ видѣ эманаціи съ трудомъ распространяется отъ твердаго радія въ воздухъ; она испытываетъ даже сопротивленіе переходу изъ твердаго радія въ жидкость. Когда взбалтываютъ радіоносное сѣрнокислое соединеніе съ водой въ теченіе цѣлаго дня, то его активность послѣ этой операціи совершенно та же, какъ и активность той же соли, оставленной на открытомъ воздухѣ.

Дѣлая пустоту надъ радіоносной солью, мы извлекаемъ всю доступную намъ эманацію. Впрочемъ, радіоактивность одного радіоноснаго хлористаго соединенія, надъ которымъ мы сдѣлали пустоту, отъ этой операціи не измѣнялась замѣтнымъ образомъ въ теченіе 6 дней. Этотъ опытъ показываетъ, что радіоактивность соли обязана, главнымъ образомъ, радіоактивной энергіи, дѣйствующей внутри крупинокъ соли, которую мы не можемъ отнять, образуя пустоту.

Потеря активности, которую испытываетъ радій, когда онъ переходитъ въ растворъ, сравнительно гораздо больше для проникающихъ лучей, чѣмъ для лучей поглощаемыхъ. Вотъ нѣсколько примѣровъ:

Радіоносная хлористая соль, достигавшая своей предѣльной активности 470, растворена и остается въ растворѣ въ теченіе часа; затѣмъ ее высушиваютъ и измѣряютъ ея начальную радіоактивность электрическимъ методомъ. Находимъ, что полное начальное лучеиспусканіе равно дроби 0,3 полнаго предѣльнаго лучеиспусканія. Если мы измѣряемъ интенсивность испусканія, прикрывая активное вещество аллюминіевымъ экраномъ въ 0,01 mm. толщиной, то находимъ, что начальное испусканіе, проходящее черезъ этотъ экранъ, равно только 0,17 предѣльнаго испусканія, проходящаго черезъ тотъ же экранъ.

Когда соль была оставлена въ растворѣ въ теченіе 13 дней, то находимъ для полнаго первоначальнаго испусканія дробь 0,22 полнаго предѣльнаго испусканія и для испусканія, пронизывающаго аллюминіевый экранъ въ 0,01 mm., 0,13 предѣльнаго испусканія.

Въ этихъ двухъ случаяхъ отношеніе начальнаго лучеиспусканія послѣ растворенія къ предѣльному лучеиспусканію въ 1,7 раза больше для полнаго лучеиспусканія, чѣмъ для лучей, прошедшихъ сквозь 0,01 mm. аллюминія.

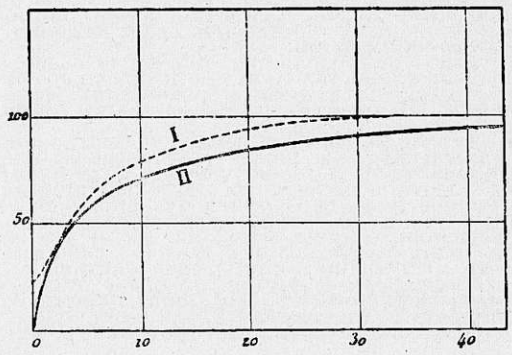
Нужно, кромѣ того, замѣтить, что, высушивая продуктъ послѣ растворенія, невозможно избѣжать періода времени, въ теченіе котораго продуктъ находится въ мало опредѣленномъ состояніи, не вполнѣ твердомъ и не вполнѣ жидкомъ.

Равнымъ образомъ, нельзя избѣжать нагрѣванія продукта съ цѣлью быстраго удаленія воды.

По этимъ двумъ причинамъ, совершенно невозможно опредѣлить истинную начальную активность продукта, переходящаго изъ растворенаго состоянія въ твердое. Въ только что изложенныхъ опытахъ, равныя количества радіоактивнаго вещества были растворены въ одномъ и томъ же количествѣ воды и затѣмъ растворы были выпарены досуха въ насколько возможно тождественныхъ условіяхъ и безъ нагрѣванія выше 120° или 130°.

Я изучала законъ, по которому увеличивается активность твердаго радіоноснаго тѣла съ момента, когда эта соль высушена послѣ растворенія, до момента, когда она достигаетъ своей предѣльной активности.

Фиг. 13.



Въ нижеслѣдующихъ таблицахъ я указываю интенсивность испусканія I, какъ функцію времени, принимая предѣльную интенсивность за 100 и считая время съ момента, когда продуктъ высушенъ. Таблица I (фиг. 13, кривая I) относится къ полному испусканію. Таблица II (фиг. 13, кривая II) относится только къ проникающимъ лучамъ (лучамъ, прошедшимъ $3^{см.}$ воздуха и $0^{mm.},01$ аллюминія).

Таблица I.

Время.	I.
0	21
1 день	25
3 дня	44
5 дней	60
10 „	78
19 „	93
33 „	100
67 „	100

Таблица II.

Время.	I.
0	1,3
1 день	19
3 дня	43
6 дней	60
15 „	70
23 „	86
46 „	94

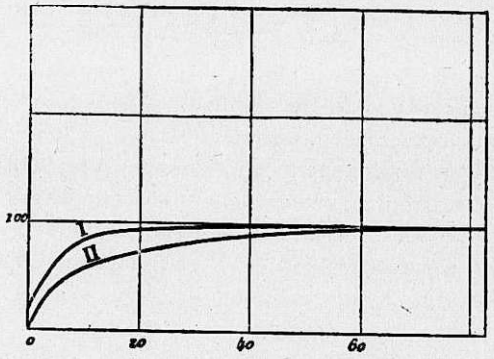
Я сдѣлала нѣсколько серій измѣреній этого рода, но онѣ не вполнѣ согласны между собою, хотя общій характеръ полученныхъ кривыхъ остается тотъ же самый. Трудно получить очень правильные результаты. Можно, впрочемъ, замѣтить, что возстановленіе активности требуетъ для своего

проявленія больше мѣсяца и что эффектъ растворенія болѣе значителенъ для лучей, наиболѣе легко проникающихъ. Начальная интенсивность испусканія, которое можетъ проходить чрезъ $3^{см.}$ воздуха и $0^{mm.},01$ аллюминія, равна только $1^0/_0$ предѣльной интенсивности, тогда какъ начальная интенсивность полнаго испусканія составляетъ $21^0/_0$ полнаго предѣльнаго испусканія. Радіоносная соль, растворенная и только что высушенная, обладаетъ той же способностью вызывать индуктированную активность (и, слѣдовательно, испускаетъ наружу столько же эманаціи), что и образецъ той же соли, которая, будучи приготовлена въ твердомъ видѣ, была оставлена въ такомъ состояніи въ теченіе времени, достаточнаго для достиженія предѣльной радіоактивности. Радіоактивность этихъ двухъ продуктовъ, впрочемъ, чрезвычайно различна; первая, напримѣръ, въ 5 разъ активнѣе второй.

Измѣненія активности солей радія при нагрѣваніи. — Когда нагрѣваютъ радіоносное соединеніе, то оно испускаетъ эманацію и теряетъ активность. Потеря активности тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе и продолжительнѣе нагрѣваніе. Такимъ образомъ, нагрѣвая радіоносную соль въ теченіе часа до 130^0, мы заставляемъ ее потерять $10^0/_0$ ея полнаго испусканія; напротивъ, 10-ти минутное нагрѣваніе до 400^0 не производитъ замѣтнаго эффекта. Нагрѣваніе до-красна въ продолженіе нѣсколькихъ часовъ уничтожаетъ $77^0/_0$ полнаго лучеиспусканія. Потеря активности при нагрѣваніи значительнѣе для проникающихъ лучей, чѣмъ для легко поглощаемыхъ. Такъ, нагрѣваніе въ теченіе нѣсколькихъ часовъ уменьшаетъ на $77^0/_0$ полное лучеиспусканіе, но это же самое нагрѣваніе уничтожаетъ почти цѣликомъ ($99^0/_0$) лучеиспусканіе, способное пройти слой $3^{см.}$ воздуха и $0^{mm.},1$ аллюминія. Держа радіоносный хлористый барій въ теченіе нѣсколькихъ часовъ въ расплавленномъ состояніи (при 800^0), мы уничтожаемъ $98^0/_0$ лучеиспусканія, способнаго пройти чрезъ $0^{mm.},3$ аллюминія. Можно сказать, что проникающіе лучи становятся почти незамѣтными послѣ сильнаго и продолжительнаго нагрѣванія. Когда радіоносная соль чрезъ нагрѣваніе потеряла часть своей активности, эта пониженная активность соли не остается постоянною: она самопроизвольно возстановляется при обыкновенной температурѣ и стремится къ извѣстной предѣльной величинѣ. Я наблюдала очень любо-

пытный фактъ, что этотъ предѣлъ выше, чѣмъ предѣльная активность соли до нагрѣванія, по крайней мѣрѣ для хлористыхъ соединеній. Вотъ примѣры: образецъ радіоноснаго хлористаго барія, послѣ его приготовленія въ твердомъ видѣ, уже давно достигъ своей предѣльной активности и обладаетъ общимъ лучеиспусканіемъ, выражаемымъ числомъ 470, и лучеиспусканіемъ, способнымъ пройти сквозь аллюминій толщиною въ 0,01 mm., выражаемымъ числомъ 157. Этотъ образецъ нѣсколько часовъ подвергается нагрѣванію до-красна. Черезъ 2 мѣсяца послѣ нагрѣванія онъ достигъ предѣльной активности; его полное лучеиспусканіе—690, а лучеиспусканіе, при прохожденіи сквозь 0,01 mm. аллюминія, равно 227. Лучеиспусканіе полное и для лучей, проходящихъ чрезъ аллюминій, увеличились взаимно въ отношеніи $\frac{690}{470}$ и $\frac{227}{156}$. Эти два отношенія почти одинаковы между собою и равны 1,45. Образецъ радіоноснаго хлористаго барія, послѣ изготовленія въ твердомъ состояніи, достигшій предѣльной активности=62, былъ выдержанъ въ расплавленномъ состояніи въ теченіе нѣсколькихъ часовъ, затѣмъ расплавленный продуктъ былъ измельченъ въ порошокъ. Этотъ продуктъ снова пріобрѣтаетъ предѣльную активность = 140, т. е. приблизительно въ два раза болѣе той, которой онъ могъ достигнуть, будучи приготовленъ въ твердомъ состояніи безъ сильнаго нагрѣванія во время высушиванія. Я изучала законъ увеличенія

Фиг. 14.



активности радіоносныхъ соединеній послѣ нагрѣванія. Вотъ, въ видѣ примѣра, результаты двухъ серій опытовъ. Числа

таблицъ I и II показываютъ интенсивность лучеиспусканія I, въ зависимости отъ времени, принимая предѣльную интенсивность за 100 и считая время отъ конца нагрѣванія. Таблица I (фиг. 14, кривая I) относится къ полному лучеиспусканію одного образца радіоноснаго хлористаго барія. Таблица II (кривая II) относится къ проникающему лучеиспусканію образца радіоноснаго сѣрнокислаго барія, такъ какъ въ этомъ случаѣ измѣряли интенсивность испусканія, которое прошло 3 см. воздуха и 0,01 mm. аллюминія. Эти два продукта мы подвергали нагрѣванію до вишнево-краснаго накаливанія въ теченіе 7 часовъ.

Таблица I.

Время	I.
0	16,2
0,6 дня	25,4
1 день	27,4
2 дня	38
3 „	46,3
4 „	54
6 „	67,5
10 „	84
24 „	95
57 „	100

Таблица II.

Время	I.
0	0,8
0,7 дня	13
1 день	18
1,9 дня	26,4
6 дней	46,2
10 „	55,5
14 „	64
18 „	71,8
27 „	81
36 „	91
50 „	95,5
57 „	99
84 „	100

Я сдѣлала еще нѣсколько другихъ опредѣленій, но, равно, какъ и для возстановленія активности послѣ растворенія, результаты различныхъ серій опытовъ не вполнѣ согласны между собой. Эффектъ нагрѣванія не сохраняется, когда растворяютъ нагрѣтое радіоносное вещество. Изъ двухъ образцовъ одного и того же радіоноснаго вещества, активностью въ 1800, одинъ сильно нагрѣвался и его активность уменьшалась отъ нагрѣванія до 670. Когда оба образца были растворены и оставлены въ растворѣ въ теченіе 20 часовъ, ихъ начальная активность въ твердомъ видѣ была 460 для не подвергавшагося нагрѣванію тѣла и 420 для нагрѣвавшагося, такимъ образомъ, не было значительной разницы въ активности этихъ продуктовъ. Но если оба вещества не остаются въ растворѣ достаточное время, если, напр., ихъ высушить немедленно послѣ растворенія, то продуктъ непро-

каленный оказывается гораздо болѣе активнымъ, чѣмъ продуктъ, подвергшійся прокаливанію; необходимо опредѣленное время для того, чтобы эффектъ нагрѣванія исчезъ вслѣдствіе растворенія. Одну соль съ активностью въ 3200 мы нагрѣвали и послѣ нагрѣванія активность была только 1030. Эту соль мы растворяли одновременно съ непрокаленной порціей того же вещества и обѣ порціи тотчасъ же высушили. Начальная активность была 1450 для непрокаленной соли и 760 для прокаленной. Для твердыхъ радіоносныхъ солей способность вызывать индуктированную радіоактивность сильно измѣняется отъ нагрѣванія. Въ то время, когда нагрѣваютъ радіоносныя соединенія, они выдѣляютъ больше эманаціи, чѣмъ при обыкновенной температурѣ; но когда они затѣмъ снова были приведены къ нормальной температурѣ, то ихъ радіоактивность не только стала гораздо ниже той, какая была до нагрѣванія, но и ихъ способность возбуждать активность значительно уменьшилась. Съ теченіемъ времени послѣ нагрѣванія, радіоактивность продукта возрастаетъ и можетъ даже превысить первоначальную величину. Способность возбуждать индуктированную активность отчасти также возстановляется; впрочемъ, послѣ долгаго нагрѣванія до-красна, эта способность почти совсѣмъ уничтожается и не возстановляется самопроизвольно со временемъ. Радіоносной соли можно вернуть ея прежнюю способность возбуждать индуктированную активность, растворяя соль въ водѣ и высушивая ее въ эксикаторѣ при температурѣ 120^0. Кажется, впрочемъ, что обжиганіе имѣетъ результатомъ превращеніе соли въ особое физическое состояніе, въ которомъ эманація испускается гораздо труднѣе, чѣмъ въ томъ же твердомъ тѣлѣ, не нагрѣтомъ до высокой температуры. Отсюда вполнѣ естественно получается тотъ результатъ, что соль достигаетъ болѣе высокой предѣльной радіоактивности, чѣмъ она имѣла до нагрѣванія. Чтобы перевести соль снова въ физическое состояніе, въ которомъ она была до нагрѣванія, достаточно растворить ее и высушить, не нагрѣвая выше 150^0.

Вотъ нѣсколько числовыхъ примѣровъ по этому вопросу: черезъ a я обозначаю предѣльную индуктированную радіоактивность, возбужденную въ закрытомъ сосудѣ на мѣдной пластинкѣ, посредствомъ радіоноснаго углекислаго

барія съ активностью въ 1600; примемъ для не нагрѣтой соли:

$$a = 100.$$

Получаемъ: 1 день спустя послѣ нагрѣванія . . $a = 3{,}3$
4 дня „ „ „ . . $a = 7{,}1$
10 дней „ „ „ . . $a = 15.$
20 „ „ „ „ . . $a = 15.$
37 „ „ „ „ . $a = 15.$

Радіоактивность тѣла уменьшилась отъ нагрѣванія на 90 %; но черезъ мѣсяцъ она уже вернулась къ прежней величинѣ. Вотъ опытъ того же рода, сдѣланный съ радіоноснымъ хлористымъ баріемъ съ активностью въ 3000. Способность вызывать индуктированную радіоактивность была опредѣлена тѣмъ же способомъ, что и въ предыдущемъ опытѣ. Эта способность для непрокаленной соли принята $a = 100$. Послѣ нагрѣванія соли до-красна въ теченіе 3 часовъ, получаются слѣдующія числа для величины a.

Спустя 2 дня послѣ нагрѣванія 2,3
„ 5 „ „ „ 7,0
„ 11 „ „ „ 8,2
„ 18 „ „ „ 8,2
Способность вызывать индуктированную активность того же продукта не нагрѣт., который былъ растворенъ и затѣмъ высушенъ до 150^0 92
Способность вызывать индуктированную активность того же продукта прокаленнаго, который былъ растворенъ и затѣмъ высушенъ до 150^0 105

Теоретическое объясненіе причинъ измѣненія активности радіоносныхъ солей послѣ растворенія и послѣ нагрѣванія.— Только что изложенные факты могутъ быть отчасти объяснимы теоріей, по которой радій производитъ энергію въ видѣ эманаціи, а эта послѣдняя преобразовывается затѣмъ въ энергію лучеиспусканія. Когда растворяютъ соль радія, эманація, которую она производитъ, распространяется внѣ раствора и вызываетъ радіоактивность въ окружающихъ источникъ тѣлахъ. Когда мы выпариваемъ растворъ, полученная твердая соль мало активна, она содержитъ мало эманаціи. Эманація постепенно накопляется въ соли, активность которой увеличивается до предѣльной величины, достигаемой тогда, когда образованіе эманаціи радія уравновѣситъ раз-

сѣяніе этой эманаціи въ окружающую среду и преобразованіе ея въ Беккерелевскіе лучи въ самомъ радіи. Когда нагрѣваютъ соль радія, внѣшній расходъ эманаціи сильно увеличивается и явленіе индуктированной радіоактивности интенсивнѣе, чѣмъ тогда, когда соль находится при обыкновенной температурѣ. Но когда соль возвращается къ обыкновенной температурѣ, она оказывается истощенной, какъ и въ случаѣ ея растворенія. Соль содержитъ только слѣды эманаціи и активность ея становится очень малой.

Но мало по малу эманація снова накопляется въ твердой соли и лученспусканіе идетъ увеличиваясь. Можно допустить, что радій является мѣстомъ постояннаго выхода эманаціи, часть которой уходитъ въ окружающее пространство, тогда какъ остающаяся часть преобразуется въ самомъ радіи въ лучи Беккереля. Радій, нагрѣтый до-красна, лишается большей части своей способности возбуждать индуктированную активность, иначе говоря, выходъ эманаціи во внѣшнее пространство уменьшается. Вслѣдствіе этого, количество эманаціи, преобразуемой въ самомъ радіи, должно быть болѣе значительно и продуктъ достигаетъ большей предѣльной активности.

Теоретически можно себѣ представить законъ увеличенія активности твердой соли, заключающей радій, которая была растворена или нагрѣта. Примемъ, что интенсивность лученспусканія радія пропорціональна въ каждый моментъ количеству эманаціи, существующей въ радіи.

Мы знаемъ, что эманація самопроизвольно уничтожается по закону, выражающемуся, что въ каждый моментъ величина будетъ

$$q = q_0 e^{-\frac{t}{\theta}} \quad (1),$$

гдѣ q_0 начальная величина эманаціи и θ постоянная времени, равная $4{,}97 \times 10^5$ сек.

Пусть, съ другой стороны, Δ притокъ эманаціи, доставляемый радіемъ, количество, которое я буду считать постояннымъ. Посмотримъ, что бы случилось, если бы эманація не исчезала въ окружающее пространство. Тогда вся эманація въ самомъ радіи была бы цѣликомъ превращена въ лученспусканіе. Тогда мы имѣли бы по формулѣ (1)

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{q_0}{\theta} e^{-\frac{t}{\theta}} = -\frac{q}{\theta}$$

и, слѣдовательно, въ состояніи равновѣсія радій заключалъ бы нѣкоторое количество эманаціи Q, такое, какое имѣли бы по (2):

$$\Delta = \frac{Q}{\theta} \quad (2)$$

и лученспусканіе радія было бы тогда пропорціонально Q.

Предположимъ, что радій находится въ условіяхъ, при которыхъ онъ теряетъ часть эманаціи во внѣшнюю среду, что можно получить, растворяя радіоносныя соединенія или нагрѣвая ихъ. Равновѣсіе будетъ нарушено и активность радія уменьшится. Но тотчасъ-же, какъ только причина потери эманаціи уничтожена (когда тѣло возвращено въ твердое состояніе, или когда его перестали нагрѣвать), эманація снова накопляется въ радіи и мы имѣемъ періодъ, въ теченіе котораго притокъ Δ беретъ перевѣсъ надъ скоростью разрушенія эманаціи $\frac{q}{\theta}$.

Тогда имѣемъ:

$$\frac{dq}{dt} = \Delta - \frac{q}{\theta} = \frac{Q-q}{\theta},$$

откуда

$$\frac{d}{dt}(Q-q) = -\frac{Q-q}{\theta}$$

или интегрируя получимъ

$$Q - q = (Q - q_0) e^{-\frac{t}{\theta}} \quad (3),$$

гдѣ q_0 количество эманаціи, находящееся въ радіи во время $t = 0$.

По формулѣ (3), избытокъ количества эманаціи Q, который радій содержитъ въ состояніи равновѣсія, надъ количествомъ q, которое онъ содержитъ въ данный моментъ, убываетъ со временемъ, слѣдуя закону показательной функціи того же вида, какъ и въ случаѣ самопроизвольнаго исчезновенія эманаціи. Такъ какъ лученспусканіе радія пропорціонально количеству эманаціи, то избытокъ предѣльной напряженности лученспусканія надъ дѣйствительно существующей напряженностью долженъ убывать въ зависимости

отъ времени, по тому-же самому закону; этотъ избытокъ долженъ уменьшиться на половину приблизительно въ 4 дня.

Вышеизложенная теорія неполна, такъ какъ не приняты въ разсчетъ потери эманаціи при испусканіи во внѣшнее пространство. При томъ очень трудно узнать, какъ эта потеря зависитъ отъ времени. При сравненіи результатовъ опыта съ результатами этой неполной теоріи, не получается удовлетворительнаго согласія, однако можно вынести убѣжденіе, что эта теорія содержитъ долю правды. Законъ, по которому избытокъ предѣльной активности надъ дѣйствительной активностью уменьшается на половину въ 4 дня, представляетъ съ нѣкоторымъ приближеніемъ ходъ возобновленія активности послѣ нагрѣванія въ продолженіе 10 дней. Въ случаѣ возобновленія активности послѣ растворенія, этотъ же законъ, повидимому, даетъ больше согласія для періода времени, который начинается спустя 2 или 3 дней послѣ высушиванія продукта и продолжается 10 или 15 дней.

Помимо этого, явленіе очень сложно; приведенная теорія не объясняетъ, почему проникающіе лучи уничтожаются въ большемъ количествѣ, чѣмъ лучи поглощаемые.

Природа и причина явленія радіоактивности.

Въ началѣ изслѣдованія радіоактивныхъ тѣлъ и когда свойства этихъ тѣлъ были еще едва извѣстны, самопроизвольность ихъ лучеиспусканія представляла вопросъ, имѣющій наибольшій интересъ для физиковъ. Теперь мы болѣе подвинулись впередъ, съ точки зрѣнія знакомства съ радіоактивными тѣлами, и мы теперь умѣемъ получать отдѣльно новое радіоактивное тѣло съ весьма большой мощностью — радій. Пользованіе замѣчательными свойствами радія доставило возможность болѣе глубокаго изученія лучей, испускаемыхъ радіоактивными тѣлами. Различныя группы лучей, которые были изучены до сихъ поръ, представляютъ аналогію съ группами лучей, которые существуютъ въ трубкахъ Крукса: лучи катодные, лучи Рентгена и лучи закатодные. Это тѣ же самыя группы лучей, которыя наблюдаются во вторичномъ лучеиспусканіи, возбужденномъ лучами Рентгена [1]), и въ лучеиспусканіи, возникшемъ отъ индуктированной радіоактивности.

[1]) Sagnac, Thèse de doctorat. — Curie et Sagnac, Comptes rendus, avriel 1900.

Но если природа этого лучеиспусканія теперь болѣе извѣстна, то причина самопроизвольной радіоактивности остается таинственной и это явленіе все еще для насъ загадка и предметъ глубокаго удивленія. Тѣла самопроизвольно радіоактивныя—на первомъ мѣстѣ радій — представляютъ изъ себя источники энергіи.

О постоянно выдѣляемой ими энергіи мы можемъ судить по лучеиспусканію Беккереля, по химическимъ и свѣтовымъ дѣйствіямъ и по непрерывному выдѣленію тепла.

Часто ставится вопросъ, создается ли энергія въ радіоактивныхъ тѣлахъ ими самими, или они заимствуютъ ее отъ постороннихъ источниковъ. Ни одна изъ многочисленныхъ гипотезъ, которыя являются результатомъ этихъ двухъ точекъ зрѣнія, не получила еще опытнаго подтвержденія.

Можно допустить, что радіоактивная энергія была предварительно запасена и расходуется мало по малу, какъ это происходитъ въ явленіи фосфоресценціи большой продолжительности. Можно вообразить,что выдѣленіе радіоактивной энергіи соотвѣтствуетъ нѣкоторому измѣненію самой природы атома радіоактивныхъ тѣлъ, который въ такомъ случаѣ былъ-бы въ состояніи развитія; тотъ фактъ, что радій непрерывно выдѣляетъ тепло, говоритъ въ пользу этой гипотезы. Можно допустить, что это преобразованіе сопровождается потерею въ вѣсѣ и испусканіемъ матеріальныхъ частичекъ, составляющихъ лучи, въ чемъ собственно и состоитъ, дѣйствительно, лучеиспусканіе. Источникъ энергіи можно искать еще въ энергіи тяготѣнія. Наконецъ, можно себѣ представить, что пространство постоянно пронизывается еще неизвѣстными намъ лучеиспусканіями, которыя задерживаются на ихъ пути черезъ радіоактивныя тѣла и преобразуются здѣсь въ радіоактивную энергію.

Много можно привести доводовъ за и противъ этихъ различныхъ взглядовъ, но чаще всего попытки подтвержденія путемъ опыта слѣдствій изъ этихъ гипотезъ давали отрицательные результаты. Радіоактивная энергія урана и радія, повидимому, не уменьшается и даже не испытываетъ замѣтныхъ измѣненій отъ времени. Демарсей при помощи спектроскопа изучалъ образецъ чистаго хлористаго радія въ теченіе 5 мѣсяцевъ. Онъ не замѣтилъ никакого измѣненія въ спектрѣ черезъ эти 5 мѣсяцевъ. Главная ха-

рактерная линія барія, которая наблюдалась въ спектрѣ и указывала на присутствіе барія въ видѣ слѣда, не дѣлалась болѣе сильной въ теченіе значительнаго промежутка времени, изъ чего можно заключить, что радій не превращался замѣтнымъ образомъ въ барій.

Измѣненія въ вѣсѣ, замѣченныя Гейдвейллеромъ для солей радія [1]), еще нельзя разсматривать, какъ установленный фактъ.

Эльстеръ и Гейтель нашли, что радіоактивность урана не измѣнялась въ шахтѣ, глубиною 850 м. Слой земли такой толщины не измѣнилъ, такимъ образомъ, первоначальнаго, гипотетическаго, возбуждающаго радіоактивность урана.

Мы измѣрили радіоактивность урана въ полдень и въ полночь, думая, что если первоначальное гипотетическое лученспусканіе имѣетъ источникомъ солнце, то оно могло-бы быть частью поглощено при прохожденіи сквозь землю. Опытъ не далъ никакой разницы въ обонхъ этихъ измѣреніяхъ.

Болѣе позднія изысканія склоняютъ къ принятію гипотезы атомическаго преобразованія радія. Эта гипотеза была высказана въ началѣ изслѣдованія радіоактивности [2]); она была охотно принята Рузерфордомъ, который допускаетъ, что эманація радія есть матеріальный газъ, который получается, какъ продуктъ разложенія атома радія [3]). Позднѣйшіе опыты Рамзая и Содди стремятся доказать, что эманація радія есть неустойчивый газъ, который распадается, образуя гелій.

Съ другой стороны, непрерывный потокъ тепла, доставляемый радіемъ, не можетъ быть объясненъ обычной химической реакціей, но можетъ имѣть своимъ источникомъ преобразованіи атомовъ.

Вспомнимъ, наконецъ, что новыя радіоактивныя вещества всегда находятся въ рудахъ урана; мы напрасно искали бы радія въ продажномъ баріи (см. стр. 46). Присутствіе радія связано съ присутствіемъ урана. Руды урана содержатъ къ тому же аргонъ и гелій и это совпаденіе, вѣроятно,

---

[1]) Heydveiller, Physik. Zeitschr., octobre 1902.
[2]) M-me Curie, Revue générale des Sciences, 30 janvier 1899.
[3]) Rutherford et Soddy. Phil. Mag., mai 1903.

не должно быть также случайно. Совмѣстное существованіе этихъ различныхъ тѣлъ въ однѣхъ и тѣхъ же рудахъ заставляетъ думать, что присутствіе однихъ является необходимымъ для образованія другихъ.

Однако, нужно замѣтить, что факты, которые поддерживаютъ идею атомическаго измѣненія радія, могутъ получить другое объясненіе. Вмѣсто того, чтобы допустить, что атомъ радія измѣняетъ свои свойства, можно принять, что этотъ атомъ самъ по себѣ устойчивъ, но, что онъ дѣйствуетъ на окружающую его среду (на сосѣдніе матеріальные атомы или на эфиръ) такимъ образомъ, что вызываетъ въ ней атомныя превращенія.

Эта гипотеза также хорошо приводитъ къ допущенію возможности превращенія элементовъ, но тогда радій уже не будетъ болѣе распадающимся элементомъ.

КОНЕЦЪ.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

стр.

Введеніе V
Историческій очеркъ VII

I. Радіоактивность урана и торія. Радіоактивные минералы.

Лучи Беккереля 1
Измѣреніе интенсивности лучеиспусканія 3
Радіоактивность соединеній урана и торія 8
Представляетъ-ли собой атомная радіоактивность явленіе общее? 11
Радіоактивные минералы 13

II. Новыя радіоактивныя вещества.

Методъ изслѣдованія 14
Полоній, радій, актиній 15
Спектръ радія 17
Извлеченіе новыхъ радіоактивныхъ веществъ 19
Полоній 22
Приготовленіе чистаго хлористаго соединенія радія 25
Опредѣленіе атомнаго вѣса радія 30
Свойства солей радія 34
Фракціонировка хлористаго соединенія обыкновеннаго барія . 35

III. Лучеиспусканіе новыхъ радіоактивныхъ веществъ.

Способы изученія лучеиспусканія 36
Энергія лучеиспусканія 37
Сложная природа лучеиспусканія 38
Дѣйствіе магнитнаго поля 40
Отклоняемые лучи β 44
Зарядъ отклоняемыхъ лучей 45
Дѣйствіе электрическаго поля на отклоняемые лучи β радія . 49
Отношеніе заряда къ массѣ для частичекъ, заряженныхъ отрицательнымъ электричествомъ, испускаемыхъ радіемъ . . . 50
Дѣйствіе магнитнаго поля на лучи α 53
Дѣйствіе магнитнаго поля на лучи другихъ радіоактивныхъ веществъ 54
Количество отклоняемыхъ лучей β въ лучеиспусканіи радія . 55
Способность прониканія лучей радіоактивныхъ тѣлъ 58

стр.

Іонизирующее дѣйствіе лучей радія на жидкіе изоляторы . . 73
Различныя дѣйствія и приложенія іонизирующаго дѣйствія лучей, испускаемыхъ радіоактивными веществами 76
Возбужденіе флуоресценціи и явленія свѣченія 77
Выдѣленіе тепла солями радія 80
Химическія дѣйствія, производимыя новыми радіоактивными веществами. Окрашиваніе 83
Выдѣленіе газа въ присутствіи солей радія 85
Возбужденіе термолюминисценціи 86
Радіографія 86
Физіологическое дѣйствіе 88
Дѣйствіе температуры на лучеиспусканіе 90

IV. Индуктированная радіоактивность.

Сообщеніе радіоактивности веществамъ первоначально неактивнымъ 91
Возбужденіе активности въ закрытомъ помѣщеніи 93
Роль газа въ явленіяхъ индуктированной радіоактивности. Эманація 94
Исчезновеніе индуктированной радіоактивности твердыхъ тѣлъ въ свободномъ воздухѣ 96
Исчезновеніе активности въ закрытомъ сосудѣ. Скорость уничтоженія эманаціи 96
Природа эманацій 98
Измѣняемость индуктированной активности жидкостей и радіоносныхъ растворовъ 100
Теорія радіоактивности 101
Другая форма индуктивной радіоактивности 103
Медленно развивающаяся индуктированная радіоактивность . 104
Индуктированная радіоактивность веществъ, находящихся въ растворѣ вмѣстѣ съ радіемъ 104
Разсѣяніе радіоактивной пыли и индуктированная радіоактивность лабораторіи 108
Возбужденіе активности безъ участія радіоактивныхъ веществъ. 109
Измѣненіе активности радіоактивныхъ тѣлъ. Дѣйствіе растворенія 109
Измѣненія активности солей радія при нагрѣваніи 115
Теоретическое объясненіе причинъ измѣненія активности радіоносныхъ солей послѣ растворенія и послѣ нагрѣванія . . 119

Природа и причина явленія радіоактивности 122

ОПЕЧАТКИ:

Страницы.	Напечатано.	Слѣдуетъ читать.
18	χ (обозн. интенс.).	λ.
Вездѣ	балестическая.	баллистическая.
57 (39)	растояніяхъ.	разстояніяхъ.
59 (нач.)	относительное прониканія.	прониканіе.
47 (кон.)	втеченіе.	въ теченіе.